

537.702

10/537702

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
17. Juni 2004 (17.06.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/052054 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H05B 3/03

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/013353

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. November 2003 (27.11.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 56 657.7 3. Dezember 2002 (03.12.2002) DE
102 56 594.5 4. Dezember 2002 (04.12.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
AU, GB, IE, IL, IN, JP, KP, KR, NZ, SG, US, ZA): SCHOTT
GLAS [DE/DE]; Hattenbergstrasse 10, 55122 Mainz (DE).

(71) Anmelder (nur für AU, BB, BF, BJ, BZ, CF, CG, CI, CM,
GA, GB, GD, GE, GH, GM, GN, GQ, GW, IE, IL, IN, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, MG, ML, MN, MR, MW,
MZ, NE, NZ, SD, SG, SL, SN, SZ, TD, TG, TT, TZ, UG, VN,
ZA, ZM, ZW): CARL-ZEISS-STIFTUNG TRADING AS
SCHOTT GLAS [DE/DE]; Hattenbergstrasse 10, 55122
Mainz (DE).

(71) Anmelder (nur für BB, BF, BJ, BZ, CF, CG, CI, CM, GA,
GD, GE, GH, GM, GN, GQ, GW, JP, KE, KG, KZ, LC,
LK, LR, LS, MG, ML, MN, MR, MW, MZ, NE, SD, SL, SN,
SZ, TD, TG, TT, TZ, UG, VN, ZM, ZW): CARL-ZEISS-
STIFTUNG [DE/DE]; 89518 Heidenheim an der Brenz
(DE).

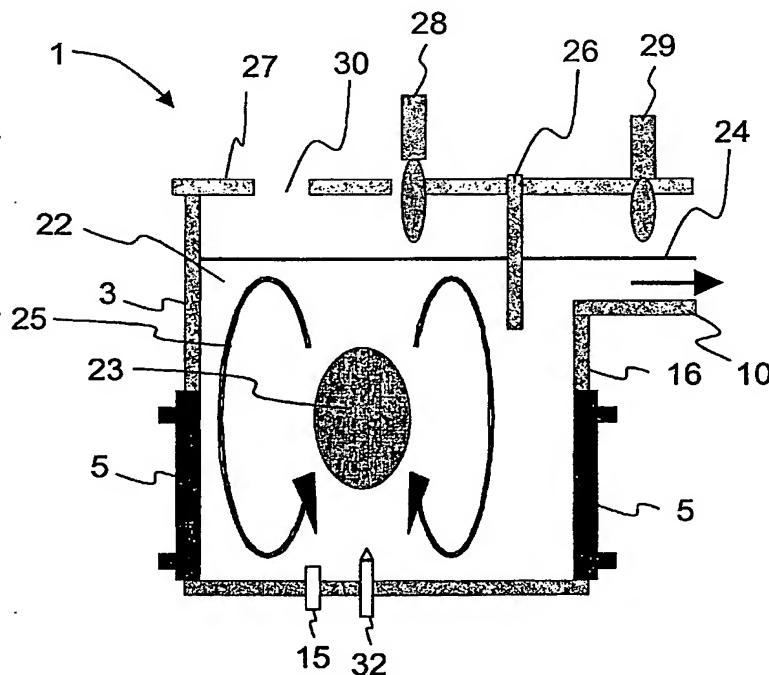
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): EICHHOLZ, Rainer
[DE/DE]; Am Weisel 94, 55126 Mainz (DE). RÄKE,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR HEATING MELTS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BEHEIZUNG VON SCHMELZEN



(57) Abstract: The invention relates to a method and device for heating a melt (22) in a melt vessel (3) with cooled walls in order to achieve high temperatures with conductive heating in at least one part of a melt (22). The melt (22) is conductively heated. The flow passes between at least two cooled electrodes (5, 501, 502) which respectively take the place of a component of the wall (14, 16) of the melt vessel (3).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/052054 A1



Guido [DE/DE]; Waldlaubersheimer Strasse 34, 55452 Rümmlsheim (DE). **OHMSTEDT, Volker** [DE/DE]; An Den Frankengräbern 13, 55129 Mainz (DE). **WEIDMANN, Günter** [DE/DE]; Adelbergstrasse 14, 55237 Flonheim (DE). **LENTES, Frank-Thomas** [DE/DE]; Goethestrasse 9, 55411 Bingen (DE). **STELLE, Thomas** [DE/DE]; Josefstrasse 64, 55118 Mainz (DE). **SCHÄFER, Ernst-Walter** [DE/DE]; Obergasse 7, 55576 Welgesheim (DE). **RÖMER, Hildegard** [DE/DE]; Heidegasse 9, 61184 Karben (DE). **SCHOLLMAYER, Jörg** [DE/DE]; Draiser Strasse 68, 55128 Mainz (DE). **HUNNIUS, Holger** [DE/DE]; Peter-Cornelius-Platz 6, 55118 Mainz (DE). **DRUSCHKE, Frank-Jürgen** [DE/DE]; Freiherr-von-Stein-Strasse 14, 55131 Mainz (DE).

(74) **Anwalt: HERDEN, Andreas**; Blumbach, Kramer & Partner GbR, Alexandrastrasse 5, 65187 Wiesbaden (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten (national)**: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,

MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional)**: ARIPO-Patent (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung**: Um bei konduktiver Beheizung in zumindest einem Bereich einer Schmelze (22) hohe Temperaturen erreichen zu können, sieht die Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Beheizung einer Schmelze (22) in einem Schmelzgefäß (3) mit gekühlten Wänden vor, wobei die Schmelze (22) konduktiv beheizt wird und wobei der Strom zwischen zumindest zwei gekühlten Elektroden (5, 501, 502) fließt, die jeweils einen Bestandteil der Wandung (14, 16) des Schmelzgefäßes (3) ersetzen.

Verfahren und Vorrichtung zur Beheizung von Schmelzen

5 Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Beheizung von Schmelzen, insbesondere ein Verfahren und eine Vorrichtung zur konduktiven Beheizung von Schmelzen.

10 Das Schmelzen von Gläsern oder Glaskeramiken in konventionellen, aus dem Stand der Technik bekannten Wannen, ist in der Regel auf Schmelztemperaturen von 1600 °C bis maximal 1650 °C beschränkt. Bereits bei Schmelztemperaturen von 1700 °C ist die Standzeit der Wannen schon sehr stark
15 eingeschränkt.

Die Beheizung der Glasschmelze in konventionellen Wannen erfolgt herkömmlich durch Öl- oder Gas-Brenner, die sich im Oberofen befinden. Die Wärme wird in diesem Fall über die
20 Glasoberfläche in das Glas eingebracht. Bei stark gefärbten Gläsern ist die Absorption im Bereich der Glasoberfläche bereits so hoch, daß nur relativ dünne Glasschichten durchwärmt werden. In solchen Fällen erfolgt oft eine elektrische Zusatzbeheizung durch Elektroden, die durch den
25 Wannenboden eingeführt werden.

Bei den elektrisch beheizten Wannen wird die Glasschmelze
konduktiv durch Elektroden mit Wechselstrom beheizt, d.h. die
Glasschmelze wird direkt beheizt. Die Elektroden werden
entweder durch den Wannenboden oder durch die Seitenwände der
5 Wanne in die Glasschmelze eingeführt und sind allseits von
der Glasschmelze umgeben.

Als Elektrodenmaterial wird vielfach Molybdän oder Platin
verwendet. Die Mo-Elektroden neigen sehr stark zur Oxidation,
10 sie dürfen daher im allgemeinen nicht mit der Luft in
Berührung kommen. Auch Glasschmelzen mit Redox-Elementen wie
zum Beispiel Sb_2O_5 und As_2O_5 können die Mo- oder Pt-
Elektroden angreifen.

15 Pt-Elektroden sind wesentlich oxidationsbeständiger, können
aber langzeitstabil nur bis zu Temperaturen von 1500 °C,
kurzfristig auch bis 1650 °C, eingesetzt werden.

Aus den Patentschriften GB 644,463 und DE 100 05 821 sind nur
20 durch Wasser gekühlte Stabelektroden bekannt. Mit gekühlten
Stabelektroden lässt sich jedoch, aufgrund der maximalen
Strombelastung pro Fläche der Elektroden, nur eine begrenzte
Leistungsmenge zuführen. Eine Beheizung eines
Schmelzaggregates mit stark gekühlten Wänden ist mit einer
25 solchen Elektroden nur sehr eingeschränkt möglich, da keine
höheren Leistungsdichten eingebracht werden können.

Elektroden mit größeren Oberflächen - sogenannte
Plattenelektroden- werden unter anderem in den
30 Patentschriften SU 1016259 oder DE 2705618 beschrieben.
Derartige Elektroden haben den Vorteil, daß sie aufgrund der
großen Elektrodenoberfläche höheren Strombelastungen

ausgesetzt werden können. Diese Plattenelektroden sind aber nicht gekühlt, so daß auch hier die maximal erreichbare Schmelzentemperatur auf die Anwendungsgrenztemperatur des Elektrodenmaterials begrenzt ist. In der SU 1016259 wird zwar
5 durch die Positionierung der Elektroden im Innern des Schmelzaggregates erreicht, daß die Wände des Schmelzaggregates kühler sind als die Temperatur in der Mitte des Schmelzaggregates. Die Elektroden haben aber die gleiche Temperatur wie die Schmelze und sind somit der für die
10 maximal erreichbare Temperatur der Schmelze limitierende Faktor.

Ein ähnlicher Ansatz wird in den Patentschriften US 5961686, und US 6044667 beschrieben, wobei nur der innere Bereich des
15 Schmelzaggregates mit gekühlten Top-Elektroden beheizt wird. Die Wände sind zusätzlich wassergekühlt. Mit dieser Anordnung läßt sich die Wandtemperatur auf kleiner als 1482 °C zur Vermeidung einer starken Korrosion halten. Die maximale Schmelztemperatur ist jedoch durch die Positionierung der
20 Elektroden in der heißesten Zone auf 1788 °C begrenzt. Der Aufbau des Aggregates hat den entscheidenden Nachteil, daß von dem gesamten Schmelzvolumen nur ein kleiner Teil für das Schmelzen bei den hohen Temperaturen genutzt werden kann. Darüber hinaus ist das Aggregat aufgrund der mit Gemenge
25 bedeckten Oberfläche nicht für das Läutern geeignet.

Um Gläser, Glaskeramiken, Keramiken oder Kristalle über 1700 °C schmelzen zu können, müssen zum einen die Wände der Schmelzaggregate und die in der Schmelze befindliche
30 Elektroden gekühlt werden und zum anderen muss der Schmelze mehr Energie zugeführt werden, als der Schmelze durch die gekühlten Wände und Elektroden entzogen wird.

Für das Schmelzen von hochschmelzenden Gläsern oder Kristallen wird in der Patentliteratur das Schmelzen mit Hochfrequenz in Skulptiegel beschrieben. So wird zum
5 Beispiel in der DE 199 39 779 das kontinuierliche Schmelzen von hochschmelzenden Gläsern mit einem Hochfrequenz-beheizten Skulptiegel beschrieben.

Unter einem Skulptiegel wird hier ein Gefäß verstanden,
10 dessen Wände aus eng nebeneinander angeordneten, wassergekühlten Metallrohren bestehen. Die Dichtigkeit des Tiegels wird durch Einfrieren der Schmelze in unmittelbarer Umgebung der Rohre gewährleistet. Somit kann auf Feuerfest-Material verzichtet werden.

15 Der Skulptiegel ist von einer Hochfrequenzspule umgeben. Zwischen den metallischen Rohren muss ein Zwischenraum sein, damit die Hochfrequenz in die Schmelze einkoppeln kann. Die Glasschmelze wird mit Hilfe der Hochfrequenz direkt beheizt.

20 Die Vorteile des Schmelzens mit Hochfrequenz in einem Skulptiegel bestehen darin, daß Glasschmelzen auch auf Temperaturen über 1700°C erhitzt werden können.

25 Durch das direkte Einkoppeln der Hochfrequenz in die Schmelze kann die Schmelze im Randbereich des Schmelzaggregates kälter sein als in der Mitte. Durch die gekühlten Metallrohre bildet sich eine Skultschicht aus arteigenem Material aus, die sich immer wieder selbst erneuern kann. Somit lassen sich auch
30 hochschmelzende oder sehr aggressive Gläser noch gut einschmelzen und läutern.

Ein weiterer Vorteil des Schmelzens mit Hochfrequenz besteht darin, daß bei den hohen Temperaturen auch andere Läutermittel, sogenannte Hochtemperaturläutermittel, zum Läutern eingesetzt werden können. Dies ermöglicht es zum Beispiel, wie in der DE 19939771 beschrieben ist, auf toxische Läutermittel wie Arsenoxid oder Antimonoxid zu verzichten.

Jedoch hat das Schmelzen mit Hochfrequenz den Nachteil, daß die zu schmelzenden Gläser, Glaskeramiken, Keramiken oder Kristalle bei der Schmelztemperatur eine ausreichend hohe elektrische Leitfähigkeit besitzen müssen. Die elektrische Leitfähigkeit der Schmelze muss dabei hoch genug sein, damit die über die Hochfrequenz eingetragene Energie größer ist, als die über die Wände und insbesondere über die Skullwände abgeführte Wärmeenergie. Obwohl die Grenze der erforderlichen elektrischen Leitfähigkeit auch von einer Reihe apparativer Parameter abhängt, hat sich in der Praxis gezeigt, daß die elektrische Leitfähigkeit der Schmelze über $10^{-1} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ liegen sollte.

Die elektrische Leitfähigkeit von Gläsern und Glaskeramiken wird dabei im allgemeinen sehr stark durch den Alkaligehalt und in geringerem Maß nur durch die Erdalkali-Anteile dieser Gläser bestimmt.

In der Praxis hat sich allerdings gezeigt, daß insbesondere die hochschmelzenden Gläser, für die das Hochfrequenzschmelzen im Skulltiegel aufgrund der hohen Temperaturen besonders geeignet wäre, in den meisten Fällen gerade eine zu geringe elektrische Leitfähigkeit von unter $10^{-1} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ aufweisen. Somit können mit der

Hochfrequenzschmelztechnik eine Reihe von wichtigen technischen Gläsern nicht verarbeitet werden.

5 Zu diesen Gläsern gehören zum Beispiel die Gläser mit hoher Temperaturbeständigkeit und hoher Temperaturwechselbeständigkeit, die zum Beispiel für Pharmaverpackungen, hochtemperaturbelastbare Lampen oder Brandschutzgläser benötigt werden. Solche Gläser müssen sowohl eine hohe Transformationstemperatur als auch eine
10 geringe lineare Wärmeausdehnung aufweisen, wobei diese Gläser meist eine hohe Schmelztemperatur und eine geringe elektrische Leitfähigkeit besitzen.

Eine weitere Gruppe von Gläsern, wie zum Beispiel Display-
15 Gläser müssen im weiteren Verarbeitungsprozess beschichtet werden. Hierbei sind Alkaligehalte in den Gläsern unerwünscht, da Alkalimetalle leicht aus den Gläsern diffundieren können und so beispielsweise in die funktionellen Schichten des Displays gelangen. Auch diese
20 Gläser besitzen aufgrund des geringen oder nicht vorhandenen Alkaligehalts eine zu geringe elektrische Leitfähigkeit, um gut genug mit der Hochfrequenz anzukoppeln.

Dementsprechend besteht Bedarf an einem Verfahren und einer
25 Vorrichtung, die es ermöglichen, Gläser, Glaskeramiken, Keramiken und Kristalle auch bei hohen Temperaturen, etwa über 1600 °C vorzugsweise über 1700 °C zu schmelzen, wobei die Gläser, Glaskeramiken, Keramiken und Kristalle auch eine geringere elektrischen Leitfähigkeit als $10^{-1} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ besitzen
30 können.

Mit dem Verfahren und der Vorrichtung soll es einerseits möglich sein, die Wände des Schmelzaggregates ausreichend zu kühlen, um einen chemischen Angriff der Schmelze auf die Wände zu verhindern und andererseits der Schmelze mehr
5 Energie zuzuführen, als ihr durch die gekühlten Wände entzogen werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und einer Vorrichtung mit den
10 Merkmalen des Anspruchs 30 gelöst.

Dementsprechend ist erfindungsgemäß ein Verfahren zur Beheizung einer Schmelze in einem Schmelzgefäß mit gekühlten Wänden vorgesehen, wobei die Schmelze konduktiv beheizt wird
15 und wobei der Strom zwischen zumindest zwei gekühlten Elektroden fließt, wobei die Elektroden jeweils einen Bestandteil der Wandung des Schmelzgefäßes ersetzen. Dies ist im Sinne der Erfindung auch so zu verstehen, daß beim Einbringen oder durch das Einsetzen von Elektroden in ein
20 Schmelzgefäß vorgegebener Geometrie die Summe der Oberflächen von Schmelzgefäß und Elektroden im Bereich der Schmelze konstant bleibt. Wird beispielsweise eine bestimmte Geometrie des Schmelzgefäßes gewählt, so nehmen die Elektroden einen Teil der Wände des Schmelzgefäßes ein, wobei die gewählte
25 Geometrie erhalten bleibt. Im Gegensatz dazu wurde bisher, beispielsweise durch zusätzliches Einbringen von Fingerelektroden die Wandungsfläche vergrößert, so daß sich auch dementsprechend die Kühlleistung erhöht.

30 Vorteilhaft können die Elektroden dazu in Aussparungen der gekühlten Wände des Schmelzgefäßes eingesetzt sein. Durch die erfindungsgemäße Anordnung wird ein günstiges Verhältnis des

Oberflächenanteiles des Schmelzgefäßes, durch den Energie in die Schmelze eingetragen wird, zum Oberflächenanteil gekühlter Wandungen geschaffen. Dadurch wird es auch möglich, durch geeignetes Einstellen oder Regeln der Kühlleistung zumindest einen Bereich der Schmelze durch den Strom auf eine Temperatur aufzuheizen, die wesentlich oberhalb der Temperatur der Oberfläche des Schmelzkontaktmaterials liegen kann. Insbesondere kann in der Schmelze eine Temperatur erreicht werden, die oberhalb der Anwendungsgrenztemperatur, wie insbesondere oberhalb der Schmelz- oder Zersetzungstemperatur des Schmelzkontaktmaterials zumindest einer der Elektroden oder des Wandungsmaterials liegt. Unter Zersetzung wird in diesem Zusammenhang insbesondere chemische Zersetzung, wie korrosiver Angriff, Sublimation oder Verdampfung verstanden.

Anwendungsgrenztemperaturen für verschiedene Schmelzkontaktmaterialien sind unter anderem aus den Veröffentlichungen

- [1] Johnson Matthey Noble Metals: "Platinum Sheet Material for the Glass Industry",
- [2] Glass Science and Technology 13: "Metals in Glassmaking", Roland Kirsch (Ed.), Elsevier, Amsterdam, London, New York, Tokyo, 1993,
- [3] E. Drost, H. Göllitzer, M. Poniatowski, S. Zeuner: "Platinwerkstoffe für Hochtemperatur-Einsatz", Metall - Internationale Zeitschrift für Technik und Wirtschaft Nr.7/8 1996, Seiten 492 - 498, Metallverlag Berlin/Heidelberg 7/8 1996 , und
- [4] "Precious Metals Science and Technology": L. S. Benner, T. Suzuki, K. Meguro, S. Tanaka (Eds.), The International Precious Metals Institute, USA, 1991,

bekannt, deren Offenbarung diesbezüglich auch zum Gegenstand der vorliegenden Erfindung gemacht wird.

5 Die Anwendungsgrenztemperatur von Schmelzkontaktmaterialien wird dabei unter anderem durch die chemische Zusammensetzung, das Kornwachstum, die Oxidationsbeständigkeit, die Korrosionsbeständigkeit in der Schmelze, die Warmfestigkeit, die Zeitstandsfestigkeit, die Kriechrate, die Einsatzdauer
10 und die Beheizungsart bestimmt. Für reines Platin wird trotz der guten chemischen Beständigkeit auf Grund der geringen Warmfestigkeit eine maximale Daueranwendungstemperatur von 1400 °C angegeben (siehe hierzu beispielsweise Veröf-
15 fentlichung [1]). In vielen Fällen, wie unter anderem aus den Veröffentlichungen [2] und [4] bekannt ist, kann Platin auch noch bis 1500 °C sicher verwendet werden.

Um beispielsweise eine besonders schnelle und effektive Läuterung des Schmelzgutes zu erreichen, ist es günstig, wenn
20 die Temperatur der Schmelze in zumindest einem Bereich über 1600 °C, vorzugsweise über 1700 °C gehalten wird. Durch die erfindungsgemäße Anordnung der Elektroden im Schmelzgefäß ist es dabei auch möglich, ein Material wie Platin als
25 Schmelzkontaktmaterial einzusetzen, welches an sich für Temperaturen oberhalb von 1600 °C aufgrund der Temperaturbelastbarkeit dieses Materials sonst im allgemeinen nicht dauerhaft zu verwenden wäre.

Die Temperatur der Schmelzkontaktfläche der Elektroden, insbesondere von Elektroden mit Platin als
30 Schmelzkontaktmaterial wird vorzugsweise auf höchstens 1500 °C gehalten. Auf diese Weise wird vermieden, daß

Elektrodenmaterial, welches die Eigenschaften des Schmelzmaterials, wie beispielsweise die Farbe beeinflusst, in größeren Mengen in die Schmelze migriert. Außerdem wird auf diese Weise die Standzeit der Elektrode erheblich erhöht.

5

Durch Zulegieren anderer Platingruppenmetalle zu Pt, wie etwa Rh, Ir oder Ru können im Einzelfall auch noch höhere Warmfestigkeiten erreicht werden, wie beispielsweise in den Veröffentlichungen [1], [2] oder [3] offenbart wird. Ab
10 Temperaturen höher als 60% der Schmelztemperatur T_s setzt jedoch meist Kristallwachstum ein, das zu einer Reduzierung der Warmfestigkeit führt und somit die Anwendungsgrenztemperatur für PtRh10 auf 1550 °C, für PtRh20 auf 1650 °C und für PtRh40 auf maximal 1700 °C begrenzt.
15 PtRh-Legierungen scheiden außerdem im allgemeinen dann aus, wenn eine Färbung des Glases durch Rhodium nicht tragbar ist.

Durch die Verwendung von feinkornstabilisiertem Platin oder solchen Platinlegierungen, wie beispielsweise PtRh10 sind
20 Anwendungsgrenztemperaturen von 1500 °C bzw. 1650 C möglich, da die Grobkornbildung hier erst bei Einsatztemperaturen höher als 85% der Schmelztemperatur T_s beginnt (siehe dazu auch die Veröffentlichungen [1], [2] und [3]).
Feinkornstabilisierte Werkstoffe, wie das oben erwähnte
25 feinkornstabilisierte Platin werden auch als dispersionsverfestigte Werkstoffe oder oxiddispersionsgehärtete Werkstoffe bezeichnet.

Die Anwendungsgrenztemperatur kann außerdem durch die
30 chemische Beständigkeit der Schmelzkontaktmaterialien begrenzt sein, die unter anderem von der Anwesenheit polyvalenter Elemente in der Schmelze abhängt. Diese bilden

häufig niedrig schmelzende Legierungen mit den Schmelzkontaktmaterialien, welche die Anwendungsgrenztemperatur erheblich reduzieren können. Liegen keine beabsichtigten Zusätze an polyvalenten Elementen, zum
5 Beispiel in der Form von Läutermitteln vor, so sind meist immer noch Verunreinigungen in den Gläsern vorhanden.

Bei keramischen Materialien können sich Anwendungsgrenztemperaturen unter anderem durch eine
10 chemische Zersetzung in Kontakt mit einer Glasschmelze ergeben. So können schmelzgegossene keramische Materialien, wie Hoch-Zirkonhaltiges Keramikmaterial (HZFC) oder AZS (Aluminium-Zirconia Silica) im allgemeinen nur bis maximal 1650 °C als Schmelzkontaktmaterial eingesetzt werden.

15 Auch kann die Anwendungsgrenztemperatur durch Oxidation herabgesetzt werden. Insbesondere beim Einsatz von Iridium muss auch der Anteil von Schwefel im Glas berücksichtigt werden, da die Bildung von IrS_2 die Verwendung von Ir
20 erheblich einschränken kann.

Mo ist in Glasschmelzen üblicherweise bis 1700 °C einsetzbar. Bei Mo setzt aber zwischen 1600 °C und 1800 °C spontanes Kornwachstum ein, das mit einer starken Abnahme der
25 Festigkeit verbunden ist, so daß dadurch eine Anwendungsgrenztemperatur innerhalb dieses Temperaturbereiches gegeben sein kann. Vergleichbares gilt für W. Hier ist die totale Rekristallisation bereits bei 1500 °C abgeschlossen. Die Anwendungsgrenztemperatur von Mo und W
30 wird jedoch weniger durch die mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen als durch die chemische Beständigkeit bestimmt. Mo und W oxidieren an Luft bzw. Sauerstoff bei

400 °C. Aus der Veröffentlichung [2] ist weiterhin bekannt, daß im Glas gelöste polyvalente Verbindungen ebenfalls zur MoO_3 - bzw. WO_3 -Bildung führen. Mo reagiert bei 1650 °C mit SiO_2 und bei 1700 °C mit Al_2O_3 unter Bildung von MoO_3 . Dadurch kann es ab diesen Temperaturen zu unerwünschter Ablösung und Abwanderung von Molybdän in die Schmelze kommen, so daß bei diesen Temperaturen ebenfalls Anwendungsgrenzen erreicht werden können.

Ist Sb_2O_3 als Läutermittel im Glas vorhanden, kann es ab 600 °C bis 900 °C zur Bildung von Mo_3Sb kommen und die Anwendungsgrenztemperatur von Mo aufgrund der Bildung einer flüssigen Phase und einer damit verbundenen Zerstörung des Bauteils erheblich senken. As_2O_3 reagiert mit Mo ebenfalls unter Bildung niedrig schmelzender Eutektika. Ein wichtiger Faktor bei der Anwendungsgrenztemperatur von Mo und W sind Molybdate und Wolframate, die in alkalihaltigen Schmelzen gebildet werden können. Diese Verbindungen weisen niedrigere Schmelzpunkte als die reinen Oxide auf. Somit können die Anwendungsgrenztemperaturen auch vom Alkali-Anteil der jeweiligen Gläser abhängen.

Durch die Erfindung werden eine Vorrichtung und ein Verfahren bereitgestellt, bei welcher die Stromdichte auf der Oberfläche des Schmelzkontaktmaterials besonders niedrig gehalten werden kann, so daß sich das Schmelzkontaktmaterial wenig aufheizt. Gegenüber herkömmlichen Elektroden wird bei der erfindungsgemäßen Elektrode die Gesamtoberfläche, bestehend aus der Elektroden- und Behältnisoberfläche nicht erhöht, da die Elektrode einen Teil der Behältnisoberfläche einnimmt. Dabei nimmt jedoch der Anteil der Oberfläche des Schmelzgefäßes zu, der Energie in die Schmelze einbringt.

Demgegenüber musste bei herkömmlichen Elektroden, um die maximal mögliche Stromdichte nicht zu überschreiten, die Elektrodenoberfläche vergrößert werden, wodurch sich eine vergrößerte Gesamtoberfläche, bestehend aus der Elektroden- und Behältnisoberfläche, ergab, welche wiederum zu einem erhöhten Wärmeaustrag führt.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Beheizung von Schmelzen, insbesondere zur Hochtemperaturläuterung von Schmelzen umfaßt demgegenüber entsprechend

- ein Schmelzgefäß mit gekühlten Wänden zur Aufnahme von Schmelzgut, und
- zumindest zwei Elektroden zur konduktiven Beheizung der Schmelze, die jeweils einen Bestandteil der Wände des Schmelzgefäßes ersetzen. Beispielsweise können diese dazu in Aussparungen in der Wandung des Schmelzgefäßes eingesetzt sein.

Durch die erfindungsgemäße Anordnung der Elektroden und die direkte konduktive Heizung des Schmelzgutes wird es möglich, ein Temperaturgefälle einzustellen, bei welchem zumindest ein Bereich der Schmelze auf einer Temperatur gehalten werden kann, die deutlich höher als die Temperatur der Oberfläche des Schmelzkontaktmaterials, sogar beispielsweise höher als die Anwendungsgrenztemperatur des Schmelzkontaktmaterials der Elektroden ist. Auf diese Weise lassen sich insbesondere Läuterungsvorgänge beschleunigen. Vorteilhaft nimmt dazu die Elektrodenfläche mehr als 5%, vorzugsweise mehr als 10% und besonders bevorzugt mehr als 15% der Wandungsfläche des Schmelzgefäßes ein. Durch derartige großflächige Elektroden wird die Stromdichte und damit deren Aufheizung niedrig gehalten. Darüber hinaus ist eine homogene

Leistungseinbringung über das gesamte Schmelzvolumen unter Verhinderung von Totvolumina gegeben.

Die Erfinder haben erkannt, daß eine Einstellung eines
5 Temperaturgefälles auch in Schmelzen mit einer elektrischen
Leitfähigkeit von kleiner als $10^{-1} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ möglich ist. Ein
Vorteil des Verfahrens beispielsweise gegenüber der
induktiven Hochfrequenzbeheizung liegt somit unter anderem
darin, daß auch bei Schmelzen mit einer elektrischen
10 Leitfähigkeit von kleiner als $10^{-1} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ eine
Hochtemperaturläuterung, insbesondere mit Temperaturen
zumindest von Bereichen der Schmelze über 1600°C ,
vorzugsweise über 1700°C durchgeführt werden kann. Eine
vorteilhafte Hochtemperaturläuterung wird unter anderem in
15 der DE 199 39 771 beschrieben, deren Offenbarungsgehalt
diesbezüglich auch zum Gegenstand der vorliegenden Erfindung
gemacht wird.

Die erforderliche Leitfähigkeit der Schmelze ist hinsichtlich
20 der Durchführbarkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens kaum
beschränkt, da die Betriebsspannung der Elektroden
entsprechend angepaßt werden kann. Bevorzugt liegt bei der
Schmelztemperatur die elektrische Leitfähigkeit der Schmelze
in einem Bereich von 10^{-3} bis $10^2 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$, besonders bevorzugt
25 in einem Bereich von 10^{-2} bis $10^1 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$.

Als Elektroden für die erfindungsgemäße Vorrichtung zur
Beheizung von Schmelzen, insbesondere zur
Hochtemperaturläuterung von Schmelzen können besonders
30 vorteilhaft auch Heizvorrichtungen eingesetzt werden, wie sie
in der am gleichen Tag wie die Erfindung angemeldeten PCT-
Anmeldung der Anmelderin mit dem Titel „Heizvorrichtung mit

Elektrode zur konduktiven Beheizung von Schmelzen" beschrieben wird und deren Offenbarungsgehalt bezüglich der hier beschriebenen Elektroden der Vorrichtung vollumfänglich auch zum Gegenstand der vorliegenden Anmeldung gemacht wird.

5

Der Aufbau der Elektroden lässt sich in drei Gruppen aufteilen, wobei jede der Gruppen unterschiedliche Aufgaben zu erfüllen hat.

- 10 Die erste Gruppe besteht aus dem Schmelzkontaktmaterial und den elektrischen Zuleitungen.

Die Aufgabe des Schmelzkontaktmaterials ist die Zuleitung der elektrischen Energie in die Schmelze. Das Material steht in
15 mit einer Oberfläche in direktem Kontakt mit der Schmelze und muss daher möglichst inert gegenüber der Schmelze sein. Die Stromzuführung von außen her kann über geeignete Anschlussfahnen erfolgen.

- 20 Die zweite Gruppe umfasst die Kühlung.

Die Aufgabe der Kühlung ist vor allem die Einstellung bestimmter Temperaturprofile in den Materialien der Elektrodenkonstruktion. Die Temperaturprofile werden derart gewählt, daß eine Überhitzung und eine übermäßige Korrosion
25 der Materialien ausgeschlossen wird. Um die Temperatur einstellen zu können, umfaßt die Elektrode vorteilhaft mindestens einen regelbaren Kühlkreislauf.

- 30 Ein bevorzugter Aufbau der Elektrode besteht darin, daß die Elektrode mit einem doppelten Kühlsystem für zwei verschiedene Kühlmedien ausgerüstet sind. Vorteilhaft kann die Einrichtung zur Kühlung der Elektroden daher zumindest

zwei insbesondere unabhängig voneinander regelbare oder einstellbare Kühlkreise umfassen. Die Kühlkreise können vorteilhaft für zwei verschiedene Kühlmedien ausgelegt sein, wobei dazu insbesondere Luft, Aerosole und Wasser als
5 Kühlmedien geeignet sind. Eine weitere Aufgabe der Kühlung ist außerdem der Auslaufschutz zwischen gekühlten Wänden und gekühlten Elektroden.

Die dritte Gruppe umfasst die Stützkonstruktion.
10 Die Stützkonstruktion dient der Realisierung der elektrischen Zuleitungen, des Schmelzkontaktmaterials und der Kühlung in einem der Elektrodenfunktion gerechten Aufbau. Dazu gehören in erster Linie die Sicherstellung des Austauschs thermischer Energien zwischen der Kühlung und dem Schmelzkontaktmaterial.
15 Es müssen hinsichtlich der thermischen und mechanischen Stabilität geeignete Materialien verwendet werden. Unter anderem sind keramische Materialien dazu geeignet.

Die Stützkonstruktion kann aus einem, wie auch aus mehreren
20 verschiedenen Schichten oder Teilen bestehen, um den Austausch der thermischen Energie zu gewährleisten.
Als Schmelzkontaktmaterial ist insbesondere für Glasschmelzen dabei beispielsweise ein Material geeignet, welches elektrisch leitfähige Keramik, wie beispielsweise SnO₂-
25 Keramik und/oder Refraktärmetalle, wie insbesondere Platinmetalle, beispielsweise Iridium, Rhodium, Platin und deren Legierungen oder hochschmelzende Refraktärmetalle, wie Wolfram, Molybdän, Tantal, Osmium, Hafnium sowie deren Legierungen umfasst. Das Schmelzkontaktmaterial kann außerdem
30 ein feinkornstabilisiertes Material umfassen. Diese zeichnen sich im allgemeinen durch eine hohe Festigkeit und gute Langzeitstabilität aus. Solche feinkornstabilisierten

Materialien können beispielsweise hochfeste Platin- oder Iridiummaterialien umfassen.

5 Zumindest eine der Elektroden kann mit Vorteil auch zumindest zwei Elektrodensegmente aufweisen. Die Elektrodensegmente oder Elektrodeneinheiten sind dabei bevorzugt gut gegeneinander elektrisch isoliert und die Elektrodeneinheiten oder Segmente werden vorzugsweise mit so geringem Abstand zueinander angeordnet, daß die Schmelze durch die
10 Zwischenräume der Elektroden nicht hindurchfließen kann.

Durch Kühlen der vorzugsweise großflächigen Elektroden bei gleichzeitiger konduktiver Heizung kann in der Schmelze eine Temperaturverteilung geschaffen werden, bei welcher große
15 Bereiche der Schmelze wesentlich heißer sind als die Schmelzkontaktfläche der Elektroden. Auch bei aktiver Kühlung der Elektroden kann dabei durch die erfindungsgemäße Elektrodenanordnung und Konfiguration mehr Energie in die Schmelze eingetragen werden, als durch die gekühlten
20 Elektroden und die weiteren Wandungen abgeführt wird.

Vorteilhaft kann dementsprechend die erfindungsgemäße Vorrichtung auch eine Einrichtung zur Kühlung der Elektroden, insbesondere zur Kühlung des Schmelzkontaktmaterials der
25 Elektroden umfassen, um beispielsweise eine Überhitzung des Schmelzkontaktmaterials zu verhindern.

Dabei ist es auch besonders vorteilhaft, wenn die Kühlung geregelt wird, so daß eine Überhitzung der Elektroden
30 vermieden und die Kühlleistung auf minimale Wärmeabfuhr optimiert werden kann.

Die Kühlung erfolgt bevorzugt durch Hindurchleiten eines Kühlfluides, wie insbesondere von Luft und/oder Wasser durch die Elektroden. Mit Vorteil kann dazu entsprechend die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Fluidfördereinrichtung umfassen. Besonders bevorzugt erfolgt dabei die Kühlung durch Hindurchleiten eines gasförmigen Kühlfluides, wie beispielsweise von Luft mittels eines Niederdruckgebläses. Vorteilhaft wird dabei das Kühlmittel mit einem Druckunterschied von weniger als 1000 mbar, bevorzugt weniger als 500 mbar, besonders bevorzugt weniger als 150 mbar durch die Elektroden geleitet. Die Kanäle zur Leitung des Kühlfluides in den Elektroden sind dazu so dimensioniert, daß ein ausreichender Kühlmittelfluss bereits bei einem solchen niedrigen, vom Niederdruckgebläse aufgebauten Druckunterschied erreicht wird.

Um ein definiertes Temperaturgefälle vom heißesten Bereich der Schmelze hin zum Schmelzkontaktmaterial der Elektroden herstellen zu können, umfaßt die erfindungsgemäße Vorrichtung außerdem bevorzugt eine Einrichtung zur Regelung der Kühlleistung der Elektroden. Die in die Wand des Schmelzgefäßes integrierten Elektroden und die Einrichtung zur Regelung der Kühlleistung sind dabei bevorzugt so ausgelegt, daß die Temperatur der Schmelzkontaktfläche der Elektroden über das eingebaute Kühlsystem sehr genau in einem weiten Temperaturbereich gesteuert werden kann.

Die Temperatur der Elektroden wird so geregelt, daß während dem Schmelzvorgang die Temperatur der Elektroden stets unter der Temperatur liegt, bei der das Elektrodenmaterial von der Schmelze chemisch in störendem Umfang angegriffen wird.

Im Falle von Platin als Elektrodenmaterial sollten zum Beispiel 1550 °C nicht überschritten werden.

Bei hoher Konvektion der Schmelze muss die Temperatur der Elektroden unter Umständen weiter abgesenkt werden, so daß auch in diesem Fall die Elektroden durch die Schmelze nicht in störendem Umfang angegriffen werden.

Ein wesentlicher Faktor für die Aufheizung der Elektrodenoberfläche und die Abführung von Heizleistung ist auch die Strahlungsabsorption von Infrarotstrahlung aus der Schmelze. Während sich eine Temperaturüberhöhung der Schmelze gegenüber den Wandungen des Schmelzgefäßes durch eine Kühlung erreichen läßt, ist dies andererseits auch möglich, indem das Schmelzgefäß eine Infrarot-reflektierende Oberfläche aufweist. Durch die Infrarot-reflektierende Oberfläche wird die Aufheizung der Wandungen verringert. Eine infrarot-reflektierende Oberfläche ist dementsprechend zu einer Kühlung der Wände in ihrer Wirkung innerhalb gewisser Grenzen äquivalent. Dementsprechend sieht die Erfindung auch eine Vorrichtung zur Beheizung von Schmelzen vor, die ein Schmelz-Konditionier- und/oder Läutergefäß zur Aufnahme von Schmelzgut umfaßt. Dabei weist das Schmelzgefäß eine zumindest bereichsweise Infrarot-reflektierende Oberfläche auf. Eine derartige Vorrichtung kann ebenfalls mit Elektroden zur konduktiven Beheizung versehen sein. Ebenso können jedoch auch andere Heizverfahren, beispielsweise eine Hochfrequenzbeheizung eingesetzt werden. Um eine gutes Reflexionsvermögen zu erreichen, kann die Infrarot-reflektierende Oberfläche poliert sein. Auch kann diese mit einer Infrarot-reflektierenden Beschichtung versehen sein, wobei insbesondere eine Gold-, Platin-, Nickel-, Chrom- oder

Rhodiumbeschichtung geeignet ist. Mit goldbeschichteten Wänden wurde beispielsweise bereits eine Reduktion der erforderlichen Heizleistung um bis zu 20 % erreicht.

5 Ist eine solche Vorrichtung für die konduktive Beheizung ausgebildet, so kann die Infrarot-reflektierende Oberfläche insbesondere die Oberfläche des Schmelzkontaktmaterials zumindest zweier Elektroden zur konduktiven Beheizung der Schmelze umfassen, die einen Teil der Wandungen ersetzen.
10 Dabei wird sogar ein deutlicher Effekt bereits dann erzielt, wenn lediglich die Oberfläche des Schmelzkontaktmaterials Infrarot-reflektierend ausgebildet ist.

Im Vergleich zu Schmelzaggregaten, die mit Hochfrequenz betrieben werden und bei denen das Schmelzgut in Skulptiegeln vollständig von wassergekühlten Skultwänden umgeben ist, besitzt das erfindungsgemäße Verfahren weiterhin den Vorteil, daß die in die Wände eingebauten, vorzugsweise gekühlten Elektroden der Schmelze deutlich weniger Wärme entziehen.

20 Darüber hinaus haben die elektrischen Umrichter für Frequenzen in einem Bereich von 50 Hz bis 50 kHz einen deutlich besseren Wirkungsgrad als die herkömmlich bei Skultiegeln eingesetzten Umrichter für Hochfrequenz, wodurch
25 sich ein erheblich kostengünstigerer Betrieb realisieren lässt.

Vorteilhaft ist es außerdem, wenn auch die Wandung des Schmelzgefäßes zumindest in einem Bereich gekühlt wird, um
30 einerseits die Wände vor Überhitzung zu schützen und andererseits ein Temperaturgefälle innerhalb der Schmelze hervorzurufen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfaßt daher,

wie dies beispielsweise bei Skulpturgießern der Fall ist, vorzugsweise eine Einrichtung zur Kühlung zumindest eines Bereichs der Wandung des Schmelzgefäßes.

- 5 Es ist insbesondere vorteilhaft, wenn die vorzugsweise großflächigen Elektroden elektrisch isoliert angeordnet werden, damit der Strom zur konduktiven Heizung nur durch die Glasschmelze und nicht über die Wände fließen kann.
- 10 Je nach Anordnung der Elektroden und Geometrie des Schmelzgefäßes können die Elektroden vorteilhaft Platten- und/oder Knopf- und/oder Stabelektroden umfassen. Da die Elektroden auch beim Betrieb unterhalb des
- 15 Temperaturbereiches, bei welchem Zersetzung der Elektrode eintritt, einem gewissen Verschleiß ausgesetzt sind, ist es weiterhin von Vorteil, wenn die Elektroden auswechselbar an der Vorrichtung befestigt sind.

- Die Elektroden werden vorzugsweise mit einem Wechselstrom von
- 20 50 Hz bis 50 kHz, besonders bevorzugt von 2 kHz bis 10 kHz betrieben. Durch den Wechselstrom wird eine Korrosion der Elektroden weitgehend vermieden, da mit zunehmender Frequenz des Stromes die Korrosion abnimmt. Entsprechend kann eine erfindungsgemäße Vorrichtung auch vorteilhaft eine
- 25 Einrichtung zur Erzeugung von Wechselstrom, wie etwa einen Mittelfrequenzumsetzer oder einen Wechselstromgenerator umfassen, wobei der Wechselstrom bevorzugt eine Frequenz in einem der oben genannten Bereiche aufweist.

- 30 Versuche haben gezeigt, daß bei schlecht elektrisch leitenden Schmelzen der Energieeintrag über großflächige gekühlte Elektroden, die nicht in die Wandungen integriert sind, nicht

ausreicht, um diese Schmelzen aufzuheizen, wenn sich die gekühlten Elektroden in einem Schmelzaggregat befinden, dessen Wände ebenfalls gekühlt werden. Der Energieaustrag aus der Schmelze über die gekühlten Wände und der zusätzliche
5 Energieaustrag über die gekühlten Elektroden ist dann bei Schmelzen mit geringer elektrischer Leitfähigkeit höher als der Energieeintrag in die Schmelze. In diesem Fall reicht es auch nicht aus die Schmelzkontaktflächen der Elektroden größer zu machen, da dadurch nicht nur der Energieeintrag
10 größer wird, sondern auch ein zusätzlicher Wärmeentzug über die größere Elektrode erfolgt. Es besteht vielmehr die Gefahr, daß bei aus dem Stand der Technik bekannten Vorrichtungen eine bereits heiße Schmelze durch Wärmeentzug soweit abkühlt, daß sie aufgrund der sinkenden Temperatur und
15 der damit verbunden sinkenden elektrischen Leitfähigkeit auskoppelt.

Dadurch, daß demgegenüber die gekühlten, vorzugsweise großflächigen Elektroden in die gekühlten Wände
20 erfindungsgemäß so integriert werden, daß sie selbst einen Teil der Wände bilden, wird die kühlende Gesamtoberfläche des Aggregats nicht vergrößert, so daß auch bei elektrisch schlecht leitenden Schmelzen der Energieeintrag höher gehalten werden kann, als der Energieaustrag.

25 Für das Verfahren zur Beheizung der Schmelze ist es vorteilhaft, wenn die Temperatur der Wandungen des Schmelzgefäßes und der Elektroden unterhalb der Temperatur gehalten werden, bei der die Materialien der Wandungen und
30 der Elektroden von Schmelze wesentlich chemisch angegriffen werden. Um bei hohen Schmelztemperaturen also eine lange Standzeit des Schmelzaggregates sicher zu stellen, müssen die

gekühlten Wände, insbesondere aus Feuerfestmaterial, über Kühlsysteme soweit abgekühlt werden, daß der chemische Angriff der Schmelze auf das Feuerfestmaterial vernachlässigt werden kann.

5

Bei hohen Schmelztemperaturen erhöht sich auch die Konvektion der Schmelze und damit der chemische Angriff auf das Feuerfestmaterial. In diesem Fall sollte die Temperatur der Wände weiter abgesenkt werden, um die erhöhte Korrosion der Wände durch die starke Konvektion zu vermeiden. Es ist jedoch generell von Vorteil, wenn die Elektroden und/oder die Wandungen des Schmelzgefäßes, beispielsweise bei Verwendung von Feuerfestkeramik als Elektroden- oder Wandungsmaterial, gegen die Schmelze chemisch weitgehend resistent sind, damit die Wände nicht zu weit abgekühlt werden müssen und der Energieaustrag durch die Wände nicht zu hoch wird. Außerdem ist es vorteilhaft, wenn das Material der Elektroden und Wandungen eine gute thermische Leitfähigkeit besitzt, damit die Wände effektiv gekühlt werden können.

20

Als gekühlte Wände können bevorzugt auch Skullwände eingesetzt werden. Die Skullwände haben den Vorteil, daß sich auf den gekühlten metallischen Rohren eine Skullschicht aus arteigenem Material bildet, die sich auch bei hohen Temperaturen stets nachbildet. Die Skullwände haben sich aber auch bei Schmelzen bewährt, die gegen keramische Feuerfestmaterialien chemisch sehr aggressiv sind. Skullwände entziehen trotz der dünnen wärmeisolierenden Skullschicht der Schmelze allerdings sehr viel Wärme. Als Material für die Wände des Schmelzgefäßes können mit Vorteil daher unter anderem auch Feuerfestkeramiken verwendet werden,

30

wobei auch die Wände aus Feuerfestkeramik vorzugsweise gekühlt werden.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, daß zumindest während
5 des Anfahrprozesses die Skullwände, die vorzugsweise gekühlte
metallische Rohre, wie beispielsweise Kupferrohre oder
Stahlrohre umfassen, auf der der Schmelze zugekehrten Seite
mit einem elektrisch und thermisch schlecht leitenden
Material, vorzugsweise in Form von Keramikplatten oder
10 Schlicker, insbesondere SiO_2 -Schlicker ausgekleidet sind.
Damit kann die Wärmeabfuhr solange verringert werden, bis die
elektrische Energiezufuhr bei höheren Schmelztemperaturen
einen ausreichend hohen Wert erreicht hat.

15 Es hat sich ebenfalls als vorteilhaft erwiesen, wenn die
gekühlten Rohre der Skullwände so beschaffen sind, daß sie
keine färbenden Ionen durch die Skullschicht in die Schmelze
abgeben. Dies kann zum einen dadurch erreicht werden, daß die
Metallrohre entweder aus Platin bestehen, oder mit Platin
20 beschichtet sind. Metallrohre aus Aluminium können an der
Oberfläche zwar leicht oxidieren, aber auch sie geben keine
färbenden Ionen in die Schmelze ab.

Weiterhin ist es auch möglich, die Metallrohre mit Kunststoff
25 zu beschichten, wie es beispielsweise in der DE 100 02 019
beschrieben ist. Kunststoffbeschichtungen können chemisch
sehr resistent sein und geben im allgemeinen keine
Metallionen an die Schmelze ab, welche im fertig
erschmolzenen und verarbeiteten Produkt unerwünschte
30 Färbungen verursachen können.

Besonders bei der Verwendung von Skullwänden ist es außerdem wichtig, daß keine leitende Verbindung zwischen den eingesetzten Elektroden und den elektrisch leitenden Skullrohren besteht, da sonst aufgrund der Widerstandsverteilung im System eine Beheizung der Schmelze nicht möglich ist. Es müssen daher geeignete Widerstandsbrücken im Skull und zu den Elektroden hin eingesetzt werden, so daß der Strom zur konduktiven Beheizung nicht über den Skull, sondern im wesentlichen durch die Schmelze fließt.

Neben der Frequenz des Stromes hat auch die Stromdichte an der Grenzfläche zur Schmelze einen starken Einfluss auf die Elektrolyse und damit auf die Korrosion der Elektroden. Versuche haben gezeigt, daß es vorteilhaft ist, möglichst großflächige Elektroden einzusetzen, beziehungsweise eine möglichst große Schmelzkontaktfläche zu schaffen, um die Stromdichte möglichst gering zu halten. Um Beschädigungen der Elektroden oder den Eintrag von Elektrodenmaterial in die Schmelze zu unterdrücken, ist es dabei von Vorteil, wenn die Elektroden so dimensioniert werden, daß für eine gegebene Heizleistung eine Stromdichte 5 A/cm² nicht überschritten wird.

Untersuchungen haben außerdem gezeigt, daß bei hohen Schmelzentemperaturen insbesondere bei Schmelzentemperaturen über 1700 °C ein wesentlicher Teil der Energie in der Schmelze durch Konvektion transportiert wird. Da die Dichte des Glases mit der Temperatur abnimmt, befindet sich die heißeste Zone üblicherweise im oberen Teil des Schmelzaggregates.

Mit steigender Temperatur nimmt die elektrische Leitfähigkeit einer Schmelze exponentiell zu. Damit ist im oberen Teil des Schmelzaggregates die elektrische Leitfähigkeit am höchsten und die Stromdichte auf den Elektroden ist dort besonders hoch. Es hat sich in diesem Zusammenhang gezeigt, daß einer Überlastung der Elektroden vorgebeugt werden kann, wenn die Elektroden im unteren Teil des Schmelzaggregates angeordnet werden. Die Anordnung der Elektroden im unteren Teil des Schmelzaggregates hat weiterhin den Vorteil, daß auch im unteren Teil des Schmelzaggregates eine hinreichende Konvektion herrscht und somit Totzonen der Strömung vermieden oder verkleinert werden. Damit befindet sich auch die Oberkante der Elektroden immer unterhalb der Schmelzbadoberfläche, wodurch eine Dreiphasengrenze Luft-Schmelze-Elektrode vermieden wird, die für die Korrosion besonders kritisch ist. Als vorteilhaft hat sich dabei insbesondere erwiesen, die Elektroden im unteren Teil des Schmelzgefäßes unterhalb der Schmelzbadoberfläche im Bereich der unteren zwei Drittel der Füllhöhe des Schmelzgefäßes anzuordnen.

Eine Überlastung der Elektroden kann auch vermieden werden, wenn die Schmelzkontaktflächen der Elektroden schräg zueinander angeordnet werden, wobei die Schmelzkontaktflächen zur Schmelzbadoberfläche hin auseinanderstreben, so daß sich im oberen Teil nahe der Schmelzbadoberfläche eine längere Widerstandsstrecke zwischen den Elektroden ergibt als im unteren Teil. Dadurch kann beispielsweise die bedingt durch die höhere Temperatur im oberen Bereich der Schmelze nahe der Schmelzbadoberfläche höhere Leitfähigkeit zur Erreichung einer homogenen Stromdichte zumindest teilweise kompensiert werden. Beispielsweise kann dazu das Schmelzgefäß eine sich

nach oben hin pyramidenstumpffartig oder kegelstumpffartig erweiternde Form aufweisen. Als weitere Maßnahme zur Reduzierung der maximalen Strombelastung auf den Elektroden kann auch beispielsweise deren oberer Rand abgerundet werden.

5

Bei größeren Aggregaten kann die Beheizung auch über mehr als ein Elektrodenpaar erfolgen. Eine Ausführungsform der Vorrichtung sieht daher mehrere Elektrodenpaare und/oder mehrere Paare von Elektrodensegmenten vor. Diese können insbesondere mit mehreren unabhängig regelbaren Heizkreise betrieben werden. Zwei Kreise können dabei zum Beispiel in einer Scott-Schaltung betrieben werden.

10

Der Begriff eines Elektrodenpaares soll hier im elektrischen Sinne als ein Polpaar verstanden werden. Dabei können auch durchaus mehrere Elektroden und/oder mehrere Elektrodensegmente auf einen elektrischen Pol, beziehungsweise einen elektrischen Anschluß zusammengelegt werden. Es ist dabei auch die Anordnung mehrerer Elektrodenpaare übereinander an den Seitenwänden des Schmelzgefäßes möglich. Auf diese Weise lässt sich die vertikale Temperaturschichtung gezielt einstellen. Mittels einer geeigneten elektronischen Ansteuerung können auch vorteilhaft unabhängig regelbare Heizkreise, denen jeweils ein Elektrodenpaar zugeordnet ist, zeitlich versetzt nacheinander betrieben werden.

20

25

Zur Vermeidung von zu hohen Spannungen bei geringer elektrischer Leitfähigkeit der Schmelze kann die Elektrodenoberfläche auch dadurch vergrößert werden, daß mit einer oder mehreren Bodenelektroden und mit einer oder mehreren Elektroden in den Seitenwänden gearbeitet wird. Die

30

Elektrodenpaare können dabei auch von mehreren Stromquellen versorgt werden.

5 Mehrere vertikal- oder horizontal nebeneinander angeordnete Elektrodenpaare können auch zur gezielten Beeinflussung der räumlichen Temperaturverteilung angeordnet werden.
Beispielsweise kann die vertikale Temperaturschichtung durch zwei unabhängig betriebene Elektrodenpaare und Heizkreise so eingestellt werden, daß Totzonen der Strömung im unteren Teil
10 des Schmelzaggregates vermieden werden.

Die Elektroden können ferner vorteilhaft so angeordnet und beschaltet werden, daß vorzugsweise im unteren Bereich des Schmelzaggregates der Hauptteil der elektrischen Leistung
15 abfällt.

Das Schmelzgefäß kann mit Vorteil einen quadratischen oder rechteckigen Grundriss aufweisen, so daß die Elektroden ebene Schmelzkontaktflächen haben können. Zur Reduzierung der
20 spezifischen Oberfläche der Schmelze bei gleichem Volumeninhalt kann das Schmelzgefäß jedoch auch zylinderförmig mit kreisförmigen oder ovalem Grundriss ausgeführt werden. Dann können die Elektroden unter anderem auch ringförmig ausgestaltet sein und beispielsweise ein
25 Höhensegment der Wandung des Schmelzgefäßes einnehmen. Die Vorrichtung kann auch eine oder mehreren am Boden des Schmelzgefäßes angeordnete Elektroden aufweisen. Eine Elektrode für ein derart geformtes Schmelzgefäß kann auch beispielsweise ein Ringsegment der Wandung des Schmelzgefäßes
30 bilden. Bodenelektroden können vorteilhaft auch so angeordnet werden, daß die Möglichkeit des Zu- oder Ablaufes von Schmelzgut am Boden besteht.

Das Schmelzgefäß kann auch einen vieleckigen Grundriss haben, der sich so beispielsweise gut einem runden oder ovalen Grundriss annähert und in einfacher Weise aus ebenen
5 Wandsegmenten herstellbar ist.

Das erfindungsgemäße Schmelzaggregat mit den gekühlten Wänden und den darin integrierten großflächigen Elektroden kann sowohl zum Einschmelzen als auch zum Läutern von Gläsern,
10 Glaskeramiken, Keramiken oder Kristallen eingesetzt werden. Es ist auch möglich zwei dieser Aggregate, beispielsweise eines zum Einschmelzen und ein weiteres zum Läutern hintereinander zu schalten. Weiterhin können die Aggregate sowohl zum diskontinuierlichen als auch zum kontinuierlichen
15 Schmelzen eingesetzt werden.

Bei der Verwendung des Aggregates zum Einschmelzen kann der Einschmelzvorgang durch Bubbling mit einem Gas, beispielsweise mit Sauerstoff oder Edelgas, beschleunigt
20 werden. Dazu kann die Vorrichtung mit Vorteil zumindest eine vorzugsweise am Boden des Schmelzgefäßes angeordnete Blasdüse oder Bubblingdüse aufweisen.

Bestehen die Wände des Schmelzaggregates aus Skullwänden und gekühlten Elektroden, dann kann der obere Teil des
25 Schmelzaggregates zum Schutz der Metallrohre des Skulls an der Schmelzbadoberfläche in Form eines Pilzes ausgestaltet sein, wie beispielsweise in der DE 199 39 772 beschrieben ist.

30

Für diskontinuierliches Schmelzen, sowie für eine vollständige Entleerung des Schmelzgefäßes, um etwa

Wartungsarbeiten durchzuführen, kann im Boden des Schmelzaggregates vorteilhaft mindestens eine Auslaufdüse angebracht werden.

5 Mit Vorteil kann die Vorrichtung außerdem eine gekühlte Brücke aufweisen, welche vorzugsweise so angeordnet ist, daß sie von oben durch die Schmelzbadoberfläche in die Schmelze eintaucht. Damit wird es möglich, in nur einem Schmelzaggregat kontinuierlich sowohl das Gemenge
10 einzuschmelzen, als auch die Schmelze zu läutern. In diesem Fall kann das Schmelzaggregat durch eine Brücke aus wassergekühlten Metallrohren in einen Einschmelzteil und einen Läuterteil getrennt werden.

15 Wie beim Schmelzen mit Hochfrequenz muß auch bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die Schmelze erst auf eine Temperatur erhitzt werden, bei der die elektrische Leitung der Schmelze hoch genug ist, damit zur konduktiven Beheizung die Schmelze so gut ankoppelt, daß die eingekoppelte Energie
20 höher ist, als die über die gekühlten Wände und Elektroden abgegebene Energie.

Beim Schmelzen mit Hochfrequenz reicht es in den meisten Fällen aus, daß ein kleiner Teil im Inneren der Schmelze eine
25 ausreichende elektrische Leitfähigkeit besitzt und gut ankoppelt. Die Hochfrequenzenergie konzentriert sich in diesem Bereich und erhitzt ihn weiter, mit der Folge, daß sich dieser Bereich ständig ausbreitet, bis er das ganze Schmelzaggregat ausfüllt.

30

Das erfindungsgemäße Schmelzverfahren beruht auf der konduktiven Beheizung der Schmelze, was bedeutet, daß

zwischen den Elektroden eine elektrische Leitung über die Schmelze hergestellt werden muss. Es reicht somit nicht aus, daß im Innern der Schmelze ein Schmelzbereich vorhanden ist, in dem die elektrische Leitung hoch genug ist. Vielmehr muß
5 der Widerstand der Schmelze zwischen den Elektroden zumindest in einem Bereich ausreichend erniedrigt werden, bzw. die elektrische Leitfähigkeit der Schmelze so weit erhöht werden, daß die angelegte Spannung, beziehungsweise die Stromdichte ausreicht, um die Schmelze gegen den Wärmeverlust der Wände
10 aufzuheizen. Dazu kann die erfindungsgemäße Vorrichtung außerdem vorteilhaft eine Einrichtung zur Zusatzbeheizung aufweisen. In geeigneter Weise kann die Einrichtung zur Zusatzbeheizung dabei beispielsweise zumindest einen fossilen Brenner und/oder zumindest einen Plasmabrenner und/oder
15 zumindest ein Widerstandsheizelement und/oder zumindest einen Infrarot-Strahler umfassen.

Wird die Zusatzbeheizung beispielsweise oberhalb des Tiegels angebracht, so muß zum Anfahren des konduktiven Heizprozesses
20 allerdings erst ein Schmelzpfad mit ausreichender elektrischer Leitfähigkeit so stark erwärmt werden, bis die Leitfähigkeit so hoch ist, daß ein hinreichend großer Strom fließt. Hier können etwa bei großen Tiegeln entsprechend leistungsstarke Zusatzbeheizungen eingebaut werden.

25 Auch bei Einsatz einer Zusatzbeheizung kann aufgrund der Wärmeabfuhr über die Elektroden selbst ohne aktive Kühlung der Elektroden deren Schmelzkontakfläche kälter als innere Bereiche der Schmelze oder des Schmelzgutes bleiben, so daß
30 durch diesen Effekt der Stromfluß insbesondere in der Nähe der Elektrodenoberfläche behindert wird. Es ist daher vorteilhaft, wenn auch wenigstens eine der Elektroden eine

Heizvorrichtung umfasst, mit der das Schmelzgut an der Elektrodenoberfläche, beziehungsweise die Schmelzkontaktfläche direkt beheizt werden kann. Die Elektrode kann so selbständig zumindest zeitweise beheizt werden, bis beispielsweise die Heizleistung durch konduktive Heizung der Schmelze ausreichend hoch ist.

Außerdem ergibt sich oft bei einer Wiederinbetriebnahme das Problem, daß zwischen Schmelzkontaktmaterial und erkaltetem Schmelzgut ein isolierender Luftspalt vorhanden ist. Dieser entsteht durch Schrumpfung des Schmelzguts beim Erkalten. Wird an die Elektrode bei vorhandenem Luftspalt eine Spannung angelegt, so kann es lokal zur Überbrückung des Luftspalts durch Ionisierung und zum Durchschießen des Stroms an dieser Stelle kommen, was zur Beschädigung des Schmelzkontaktmaterials führen kann. Mit einer direkten Beheizung der Elektroden kann das Schmelzgut im Bereich des Schmelzkontaktmaterials angeschmolzen werden und kommt so wieder unter Bildung einer großflächigen leitfähigen Brücke wieder in elektrischen Kontakt mit der Elektrode.

Als Heizvorrichtung ist insbesondere eine ohmsche Heizeinrichtung geeignet. Diese kann bevorzugt eine Stromquelle umfassen, welche an das Schmelzkontaktmaterial oder ein darunter befindliches leitfähiges Material angeschlossen ist und so einen Strom durch das Schmelzkontaktmaterial oder das darunter befindliche leitfähige Material treibt.

Die Heizvorrichtung kann jedoch auch alternativ oder zusätzlich eine Vorrichtung zur Erwärmung eines Kühlfluids umfassen. Auf diese Weise kann die Elektrode mit demselben

Fluid sowohl beheizt als auch gekühlt werden. Dementsprechend muß die Heizeinrichtung auch nicht direkt unterhalb der Schmelzkontaktfläche angeordnet werden, sondern kann an nahezu beliebiger geeigneter Stelle im Kühlfluid-Kreislauf angebracht sein. Die Heizvorrichtung kann beispielsweise eine elektrische und/oder fossile Heizung und/oder eine Abwärmeheizung umfassen.

Eine Vorheizung durch Erwärmung des Kühlmittels insbesondere mittels elektrischer Energie, Abwärme oder vorzugsweise mit fossilen Energieträgern ist beispielsweise auch vorteilhaft, um den Niederschlag von Feuchtigkeit auf den Elektroden zu verhindern, indem diese über den Taupunkt der Oberofenatmosphäre der Schmelzvorrichtung erwärmt wird. Feuchtigkeit kann beispielsweise in der Schmelzvorrichtung in größeren Mengen während der Inbetriebnahme des Aggregates entstehen, wenn das Schmelzgut mit fossilen Brennern vorerhitzt wird.

Es gibt eine Reihe von Verfahren, die Schmelze soweit zu erhitzen, daß sie eine Temperatur erreicht, bei der die elektrische Leitung der Schmelze ausreichend ist, um ein Weitererhitzen mit Hilfe der Elektroden oder die Ankopplung der Schmelze zu ermöglichen.

So kann zur Inbetriebnahme des Schmelzaggregates das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhaft einen Startvorgang umfassen, bei welchem im Schmelzgefäß befindliches festes Schmelzgut eingeschmolzen oder in das Schmelzgefäß schmelzflüssig eingefüllt wird. Im folgenden soll beispielhaft ein solches Anfahren der Schmelze beschrieben

werden. Die Erfindung ist jedoch nicht auf dieses spezielle Anfahrvorgang beschränkt.

Zum Anfahren oder Starten des erfindungsgemäßen
5 Schmelzaggregates werden beispielsweise Scherben oder Gemenge
in das Schmelzaggregat eingelegt und mittels eines oder
mehrerer fossiler Brenner, Plasmabrenner oder Infrarot-
Beheizung im Oberofen soweit aufgeschmolzen, bis eine
ausreichende elektrische Leitung zum Start der direkten
10 elektrischen Beheizung gegeben ist. Die technische Grenze
stellt dabei die maximale Spannung dar, die von einer
Einrichtung zur Erzeugung von Wechselstrom, wie etwa einem
Mittelfrequenzumrichter bereitgestellt werden kann. Um einen
Stromfluss bei geringerem Übergangswiderstand zu ermöglichen,
15 können die Elektroden während des Startvorgangs ohne oder nur
mit geringer Kühlung betrieben oder widerstandsbeheizt
werden.

Um den Startvorgang oder das Anfahren zu erleichtern, können
20 die Elektroden auch verschiebbar angeordnet sein. Dabei
können die Elektroden die Elektroden vor dem Startvorgang
zusammengeschoben werden, so daß das Volumen zwischen den
Schmelzkontaktoberflächen verringert wird. Dieses kleinere
Schmelzvolumen kann dann leicht auf eine Temperatur gebracht
25 werden, bei der die Schmelze eine für die konduktive Heizung
durch die Elektroden ausreichende Leitfähigkeit aufweist. Die
Elektroden können während des Startvorgangs wieder auf ihre
Betriebspositionen auseinandergezogen werden, wobei das
Schmelzvolumen vergrößert wird.

30

Mit einer Heizvorrichtung können die Elektroden und/oder
gekühlten Wände während des Anfahrprozesses, beziehungsweise

des Startvorgangs soweit erwärmt werden, daß deren Temperatur oberhalb des Taupunktes der Oberofenatmosphäre liegt. Auf diese Weise wird verhindert, daß sich Feuchtigkeit auf den Elektroden niederschlägt, die dann als Wasserfilm bei Inbetriebnahme der Elektroden zu Kurzschlüssen führt. Besonders bevorzugt umfaßt eine solche Vorheizung eine Kühlwasser-Vorheizung.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung werden zur Einschmelzung des Schmelzguts Startelektroden in das Schmelzgefäß eingeführt und über die Startelektroden wird ein Strom durch das Schmelzgut geleitet. Auf diese Weise kann dann zunächst in einem kleinen Bereich des Schmelzaggregates eine Schmelze erzeugt werden. Die Startelektroden können außerdem während des Startvorgangs auseinandergefahren werden, so daß sich der Bereich mit geschmolzenem Schmelzgut vergrößert. Dieser sich während des Startvorgangs vergrößernde Bereich geschmolzenen Materials kann dann schließlich in Kontakt mit den eigentlichen Elektroden oder geschmolzenen Bereichen in deren Umgebung kommen, die beispielsweise mittels einer Heizvorrichtung zur Heizung der Elektroden aufgeschmolzen wurden. Auf diese Weise kann ein Schmelzpfad mit einer ausreichenden Leitfähigkeit des Schmelzguts zwischen den Elektroden erreicht werden, so daß die konduktive Beheizung der Schmelze in Betrieb genommen werden kann.

Mit steigender Temperatur der Schmelze nimmt die elektrische Leitfähigkeit der Schmelze exponentiell zu und es kann mittels eines Transformators auf eine niedrigere Spannung umgeschaltet werden, da zur Einbringung einer hohen elektrischen Leistung ein starker Strom benötigt wird.

Parallel zur Steigerung der elektrischen Leistungseinbringung kann die Leistung der Oberofenbeheizung mit der steigenden elektrischen Leitfähigkeit der Schmelze entsprechend erniedrigt werden. Da die elektrische Leitfähigkeit der Schmelzen, wie zum Beispiel bei Glasschmelzen sehr rasch mit der Temperatur ansteigt, kann es leicht zu einem Durchbrennen der Elektroden kommen. Die Kühlung der Elektroden und die Heizleistung kann daher in Abhängigkeit von der Temperatur und der Zusammensetzung der Schmelze genau geregelt werden.

10

Erfindungsgemäß kann dies dadurch erreicht werden, daß die Temperaturen der Elektroden genau überwacht und mit Hilfe einer Regelung und dem in die Elektroden eingebauten Kühlsystem die Temperatur der Elektroden genau eingestellt

15

wird. Zum einen dürfen die Elektroden der Schmelze nicht zu viel Wärme entziehen, und zum anderen dürfen sie nicht so heiß werden, daß sie korrodieren oder gar durchbrennen.

20

Bestehen die Wände des Schmelzaggregates aus Skullwänden, dann können die Skullwände mit keramischen Materialien oder mit Schlicker abgedeckt werden. Der Schlicker kann beispielsweise aus gemahlenem Quarzgut bestehen. Durch die Abdeckung der Skullwände wird in der Anfahrphase vermieden, daß ein zu hoher Wärmeverlust durch die Wände erfolgt.

25

Weiterhin ist auch zur Inbetriebnahme des Schmelzaggregats, beziehungsweise für den Startvorgang ein Umschmelzen von einer Schmelze mit hoher elektrischer Leitfähigkeit auf eine Schmelze mit niedriger elektrischer Leitfähigkeit möglich.

30

Es wurde gefunden, daß in dem Schmelzaggregat, beziehungsweise dem Schmelzgefäß eine starke Konvektion einsetzt, wenn die Temperaturdifferenz zwischen der Schmelze

im Randbereich des Schmelzgefäßes und der Schmelze im
Mittenbereich des Schmelzaggregates mehr als 150° K,
vorzugsweise mehr als 250° K beträgt. Eine starke Konvektion
ist vorteilhaft, um das Schmelzmaterial umzuwälzen, so daß
5 die gesamte Schmelze, oder wenigstens der größte Teil davon
durch den Bereich mit der gegenüber der Elektrodenoberfläche
erhöhten Temperatur läuft. Bei einer Temperatur der
Schmelzkontaktfläche der Elektroden von 1500°C kann die
Schmelzentemperatur dementsprechend in einem vorzugsweise in
10 der Mitte des Schmelzgefäßes angeordneten Bereich über
1650 °C, vorzugsweise über 1750 °C liegen.

Die Möglichkeit, erfindungsgemäß eine Schmelze auf hohe
Temperaturen auch oberhalb der Belastbarkeitsgrenzen von
15 Elektroden- und Wandungsmaterial erhitzen zu können, bringt
eine Reihe von Vorteilen. Zum einen können noch
hochschmelzende Gläser, Glaskeramiken, Keramiken oder
Kristalle geschmolzen werden. Ein weiterer Vorteil liegt
darin, daß die chemischen Reaktionen und physikalischen
20 Vorgänge bei höheren Temperaturen deutlich schneller ablaufen
als bei niedrigeren Temperaturen. So laufen sowohl die
Einschmelzprozesse als auch die Läutervorgänge bei höheren
Temperaturen deutlich schneller ab. Eine Temperaturerhöhung
um 200 °K bewirkt eine Beschleunigung der chemische
25 Reaktionen und der physikalischen Prozesse um einen Faktor 3
oder sogar höher. Dadurch können beispielsweise
eingeschlossene Blasen im Schmelzgut schneller entfernt
werden. So ist die Aufstiegsgeschwindigkeit von Blasen in
einer Schmelze gegeben durch:

30

$$v = \frac{2 \rho \cdot g \cdot r^2}{9 \eta(T)}$$

Dabei bezeichnen ρ die Dichte des Schmelzguts, g die Erdbeschleunigung, r den Blasenradius und $\eta(T)$ die temperaturabhängige dynamische Viskosität. Wird die Temperatur der Schmelze gesteigert, so steigt aufgrund der thermischen Expansion der Blasenradius, die Eindiffusion von Gasen aus der Schmelze in die Blase wird beschleunigt und die Viskosität der Schmelze verringert sich. Um die chemischen und die physikalischen Reaktionen zusätzlich zu beschleunigen ist es vorteilhaft, wenn, wie oben beschrieben, in dem Schmelzaggregat eine starke Konvektion der Schmelze stattfindet.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung wird für eine kontinuierliche Verarbeitung des Schmelzgutes kontinuierlich Schmelzgut dem Schmelzgefäß zu- und abgeführt. Insbesondere kann das Schmelzgut auch in geschmolzener Form über einen Zulauf zugeführt und in ebenfalls geschmolzener Form über einen Ablauf abgeführt werden. Eine solche Ausgestaltung des Verfahrens, beziehungsweise einer entsprechenden Vorrichtung ist besonders für das Läutern einer Schmelze in einem kontinuierlichen Produktionsprozeß günstig, da sich eine entsprechend als Läuteraggregat ausgestaltete Vorrichtung einfach beispielsweise einem Einschmelzofen nachschalten läßt, wobei die Schmelze aus dem Ablauf nach dem Läutern vom Aggregat abgezogen wird.

Es kann außerdem vorteilhaft sein, in dem Schmelzaggregat die Elektroden so anzuordnen, daß sich die Elektroden in Flussrichtung oder senkrecht dazu gegenüber stehen. Findet eine kontinuierliche Schmelze statt, etwa bei der Verwendung der Vorrichtung als Läuteraggregat mit kontinuierlichem Zu-

und Abfluß, so können die Elektroden so eingebaut sein, daß der elektrische Heizstrom zwischen den Elektroden im wesentlichen entlang der Hauptfließrichtung der Schmelze, oder senkrecht dazu fließt. Diese beiden Anordnungen, beziehungsweise Stromflußrichtungen sind unter anderem vorteilhaft, um das Ausbilden geeigneter Konvektionswalzen in der Schmelze zu fördern, mit denen das Schmelzgut durch das Schmelzgefäß transportiert wird. Besonders günstig ist eine Ausbildung einer Konvektionswalze, welche mit Rotationsachse senkrecht zur Hauptfließrichtung der Schmelze rotiert. Welche der beiden Elektrodenanordnungen, in oder senkrecht zur Hauptfließrichtung der Schmelze gegenüberstehend, günstiger für die Ausbildung einer derartigen Konvektionswalze ist, hängt dabei im einzelnen von der Geometrie des Schmelzgefäßes ab. Förderlich für das Ausbilden einer Konvektionswalze ist auch eine Anordnung der Elektroden im unteren Bereich des Schmelzgefäßes.

Vorteilhaft kann dabei zwischen Schmelzkontaktfläche der Elektroden und einem Bereich der Schmelze im wesentlichen mittig zwischen den Elektroden eine Temperaturdifferenz von mehr als 150°K , vorzugsweise von mehr als 250°K eingestellt werden. Auf diese Weise wird eine Konvektionswalze in Gang gesetzt, welche das Schmelzgut vom Zulauf zum Ablauf befördert und das Schmelzgut ohne Kurzschlußströmung an der Schmelzbadoberfläche durch das Schmelzgefäß leitet.

Bei dieser gegenüberliegenden Anordnung der Elektroden muss die Schmelze zum Läutern nicht mehr von unten in das Läuteraggregat eingeführt werden, sondern kann vorteilhaft über Zulauf und Ablauf von oben im Bereich der Schmelzbadoberfläche in das Läuteraggregat eingeführt und

wieder abgezogen werden. Diese Anordnung ist technisch wesentlich einfacher realisierbar als das Einführen der Schmelze von unten.

5 Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsformen und unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Dabei verweisen gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche Teile.

10 Es zeigen:

Fig. 1A bis 1C: Ansichten einer ersten Ausführungsform der Erfindung,

15 Fig. 2 eine schematische Querschnittansicht einer Elektrode,

Fig. 3A bis 3F: schematische Darstellungen von Elektrodenkonfigurationen, Schmelzgefäß-
formen und Elektrodenbeschaltungen
20 verschiedener Ausführungsformen der Erfindung,

Fig. 4 eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 5 gemessene Diagramme von Temperaturen im Schmelzaggregat als Funktion des
25 Heizstroms, und

Fig. 6A bis 6C anhand schematischer Querschnitte durch ein Schmelzaggregat Verfahrensschritte eines Startvorgangs.

30 In den Figuren 1A bis 1C sind verschiedene Ansichten einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Beheizung von Schmelzen dargestellt. Die Vorrichtung ist

als Ganzes mit 1 bezeichnet. Fig. 1B zeigt eine Ansicht der Vorrichtung 1 aus Sicht des Pfeils B in Fig. 1A. Fig. 1C stellt eine Aufsicht gesehen in Richtung des Pfeils C in Fig. 1B dar. Die Vorrichtung 1 umfaßt ein als Skulptiegel ausgeführtes Schmelzgefäß 3. Der Tiegel ist aus Rohren 7 gefertigt, durch die im Betrieb der Vorrichtung zur Kühlung des Gefäßes Kühlmittel geleitet wird. Als Material für die Rohre ist unter anderem Kupfer aufgrund seiner guten Wärmeleitfähigkeit geeignet. Kupfer weist jedoch andererseits keine besonders hohe Festigkeit auf, so daß auch Rohre aus hoch mechanisch festem oder temperaturfestem Metall, insbesondere solche aus hochfestem oder warmfestem Stahl geeignet sein können.

Um den Wärmeverlust über die Skultwände zu minimieren, können die Wände außerdem mit einer Infrarot-reflektierenden Oberfläche versehen sein. Beispielsweise können dazu die Rohre 7 mit einer Platin- oder Goldbeschichtung versehen sein, die insbesondere auch poliert sein kann, um das Reflexionsvermögen zu erhöhen. Auch Rhodium, Chrom, Nickel oder Palladium, sowie deren Legierungen können dazu eingesetzt werden.

Am Tiegel im Bereich der Schmelzbadoberfläche ist ein Feuerfestkragen 13 angeordnet, der vorzugsweise aus chemisch resistentem Material gefertigt ist, um Reaktionen an der Dreiphasengrenze zu unterdrücken, die am Rand der Schmelzbadoberfläche zur Oberofenatmosphäre entsteht. Dieser Kragen kann beispielsweise ein schmelzgegossenes keramisches Material umfassen. In den Feuerfestkragen ist ein Zulauf 9 und ein Ablauf 10 mit Schmelzgutrinnen 11 eingearbeitet, über welche das Schmelzgut im Bereich der Schmelzbadoberfläche des

Schmelzgefäßes kontinuierlich zu- und abgeführt wird. Am Boden 14 des Schmelzgefäßes ist außerdem ein Bodenablauf 15 angeordnet, durch welchen der Tiegel entleert werden kann. Anders als in der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform können die Skallrohre auch aus der Schmelzbadoberfläche herausragen und zumindest im Bereich der Schmelzbadoberfläche zur Erhöhung der chemischen Resistenz beispielsweise kunststoffbeschichtet sein. Als Kunststoff ist dazu insbesondere Teflon geeignet.

An der Seitenwandung dieser Ausführungsform der Vorrichtung 1 sind in entsprechenden Aussparungen in der Seitenwandung 16 des Schmelzgefäßes zwei Elektroden 5 angeordnet, die Kühlmittelanschlüsse 6 als Bestandteil einer Einrichtung zur Kühlung der Elektroden aufweisen und über welche Kühlmittel durch Kanäle im Inneren der Elektroden geleitet wird. Die Elektroden 5 ersetzen durch die erfindungsgemäße Anordnung einen Teil der Seitenwandung 16 des Schmelzgefäßes 3, wobei die Elektroden 5 außerdem gegenüberliegend am Schmelzgefäß angebracht sind. Um die Stromdichte im Schmelzkontaktmaterial der Elektroden gering zu halten, sind die Elektroden 5 großflächig gehalten. Bevorzugt ersetzen die Elektroden 5 dabei mindestens 15 % der Wandungsfläche des Schmelzgefäßes im Bereich der Schmelze.

Zum Heizen der Schmelze wird über die Elektroden 5 ein Heizstrom durch die Schmelze geschickt, wobei die Elektroden 5 gegenüber dem Schmelzgefäß 3 isoliert befestigt sind, so daß kein Strom über die Wandungen des Schmelzgefäßes fließen und die Heizleistung mindern kann. Um im Falle eines Defektes der Isolierung dennoch die Kurzschlußfestigkeit zu erhalten, können außerdem auch die Wandelemente des Schmelzgefäßes in

zueinander isolierte Segmente aufgeteilt sein. Die Elektroden sind ferner auf denselben Seiten der Vorrichtung 1 wie Zulauf 9 und Ablauf 10 der Schmelze angeordnet, so daß der Heizstrom zwischen den Elektroden im wesentlichen in Richtung der Hauptfließrichtung der Schmelze oder entgegengesetzt dazu fließt.

Die Elektroden sind großflächig dimensioniert, so daß der aus den Elektroden in die Schmelze austretende Strom an keiner Stelle der Schmelzkontaktfläche eine Stromdichte von 5 A/cm^2 überschreitet. Über die Elektroden 5 wird durch die im Schmelzgefäß 3 befindliche Schmelze mittels einer Einrichtung zur Erzeugung von Wechselstrom ein Heizstrom, bevorzugt mit einer Wechselstromfrequenz in einem Bereich von 50 Hz bis 50 kHz, besonders bevorzugt mit einer Wechselstromfrequenz in einem Bereich von 2 kHz bis 10 kHz geleitet.

Fig. 2 zeigt eine schematische Querschnittansicht einer Elektrode 5. Die Elektrode 5 weist elektrische Zuleitungen 52 auf, welche mit dem Schmelzkontaktmaterial 53 verbunden und an eine Stromversorgung, bevorzugt einen Mittelfrequenzumsetzer zur konduktiven Heizung der Schmelze anschließbar sind. Das Schmelzkontaktmaterial 53 der Elektrode 5 weist eine Schmelzkontaktfläche 51 auf, die in Berührung mit der Schmelze steht. Um das Schmelzkontaktmaterial 53 in der Schmelze gegen den hydrostatischen Druck der Schmelze zu stabilisieren, ist das Schmelzkontaktmaterial 53 an einer Stützvorrichtung 54 befestigt. Die Stützvorrichtung 54 kann beispielsweise aus Feuerfest-Keramik gefertigt sein. Außerdem ist die Stützvorrichtung 54 in dieser Ausführungsform noch mit Halteblechen 56 versehen, welche zur Montage und Befestigung

der Elektrode 5 dienen. Mit den Halteblechen wird eine Befestigung der Elektrode am Schmelzaggregat, beziehungsweise dem Schmelzgefäß realisiert, die ein leichtes Auswechseln der Elektrode 5 ermöglicht.

5

Die Elektrode 5 wird so in ein Schmelz- oder Läuteraggregat integriert, daß die Schmelzkontaktfläche 51 einen Wandbereich des Schmelzgefäßes bildet. Das Schmelzkontaktmaterial 53 ist bevorzugt aus Refraktärmetall, wie Platin oder einer Platinlegierung gefertigt, welches unterhalb von 1600 °C nur geringe Neigung zu Korrosion und Migration von Elektrodenmaterial in die Schmelze zeigt. Für einige Schmelzen ist auch eine leitende, feuerfeste Keramik, wie beispielsweise SnO_2 -Keramik geeignet.

15

Die Stützevorrichtung 54 weist eine Vielzahl von Anschlüssen 6 auf, die mit Fluidleitungskanälen im Inneren der Stützevorrichtung 54 verbunden sind. Dabei ist eine erste Gruppe von Anschlüssen 61 mit einem ersten Kühlkreis und eine zweite Gruppe 62 von Anschlüssen mit einem zweiten Kühlkreis verbunden. Bevorzugt ist dabei der erste Kühlkreis eine Luftkühlung und der zweite Kühlkreis eine Wasserkühlung. Die Fluidleitungskanäle des ersten Kühlkreises im Inneren der Stützevorrichtung 54 sind außerdem so angeordnet, daß das Kühlmittel in direkten Kontakt mit dem Schmelzkontaktmaterial auf der gegenüberliegenden Seite der Schmelzkontaktfläche 51 kommt. Durch diese Kühlkreise sind die Kühlleistungen der Elektroden separat regelbar oder einstellbar.

25

Die Elektrode weist außerdem eine ohmsche Heizeinrichtung auf. Diese umfaßt eine Stromquelle 33, welche über Zuleitungen 34 mit dem Schmelzkontaktmaterial 53 verbunden

30

ist. Zur ohmschen Beheizung der Elektrode 5 kann so ein Strom durch das Schmelzkontaktmaterial 53 geleitet werden, welches sich daraufhin aufheizt. Diese Art der Heizung nach der Art einer Querbestromung des Schmelzkontaktmaterials 53 ist besonders vorteilhaft, da auf diese Weise besonders nahe an der Schmelze geheizt wird und die Heizung so nur eine sehr geringe Trägheit besitzt.

Die Figuren 3A bis 3F zeigen schematische Darstellungen von möglichen Elektrodenkonfigurationen, Schmelzgefäßformen und Elektrodenbeschaltungen verschiedener Ausführungsformen der Erfindung.

Fig. 3A zeigt eine erste Ausführungsform einer Vorrichtung, die, ähnlich wie die anhand der Figuren 1A bis 1C erläuterte Ausführungsform, ein Schmelzgefäß 3 mit im wesentlichen quadratischen Grundriss aufweist. Die Seitenwandungen 16 des Schmelzgefäßes sind dabei jeweils rechtwinklig zum Boden angeordnet, so daß das Schmelzgefäß 3 eine quaderförmige Gestalt hat. Die Elektroden 501 und 502 sind an gegenüberliegenden Seiten des Schmelzgefäßes angebracht, so daß der Heizstrom auf der gesamten Breite des Schmelzgefäßes die Schmelze zwischen den Elektroden im Schmelzgefäß 3 durchqueren muß, wodurch eine gleichmäßige Verteilung der Heizleistung in der Schmelze erreicht wird. Zur Beheizung der Schmelze sind die Elektroden 501 und 502 an die Pole einer Wechselstromquelle 18 als Einrichtung zur Erzeugung von Wechselstrom angeschlossen und bilden ein Elektrodenpaar.

Die Elektroden 501 und 502 sind ferner im unteren Teil des Schmelzgefäßes unterhalb der Schmelzbadoberfläche im Bereich der unteren zwei Drittel der Füllhöhe des Schmelzgefäßes

angeordnet. Dadurch sind die Elektroden 501, 502 immer ganz in die Schmelze eingetaucht und eine für Korrosion kritische Dreiphasengrenze wird vermieden. Durch die Anordnung im unteren Bereich des Schmelzgefäßes wird außerdem der Bereich mit gegenüber den Schmelzkontaktflächen der Elektroden erhöhter Temperatur vergrößert, da die Wärmeableitung von der Schmelzbadoberfläche im oberen Teil deutlich geringer als die Wärmeableitung über die Wandungen und Elektroden ist.

10 In Fig. 3B ist eine Ausführungsform der Vorrichtung mit zwei gegenüberliegenden, schräg angeordneten Seitenwänden 161 und 162 des Schmelzgefäßes dargestellt. Die Elektroden 501 und 502 nehmen jeweils einen ebenen Bereich dieser Seitenwände ein. Durch die schräge Anordnung der Elektroden zueinander
15 legt der Strom im oberen Bereich des Schmelzgefäßes, wo die Schmelze eine höhere Temperatur und damit verbunden eine bessere Leitfähigkeit aufweist, eine größere Strecke zurück. Auf diese Weise wird erreicht, daß die ohmschen Widerstände entlang der verschiedenen Wegstrecken zumindest teilweise
20 einander angeglichen werden, was zu einer homogenen Verteilung der Heizleistung in der Schmelze, sowie auf der Elektrodenoberfläche führt.

Fig. 3C zeigt eine Ausführungsform der Vorrichtung 1 mit
25 mehreren Elektrodenpaaren. Jeweils zwei der Elektroden Elektroden 501, 502, 503 und 504, die auf gegenüberliegenden Seiten der Wandung 16 angeordnet sind, sind dabei zu einem Elektrodenpaar zusammengefaßt, welches jeweils von einer Wechselstromquelle 18, beziehungsweise 20 versorgt wird.
30 Dabei sind die Elektroden 501 und 502 an die Wechselstromquelle 18 und die Elektroden 503 und 504 an die Wechselstromquelle 20 angeschlossen.

Die Elektrodenkonfiguration dieser Ausführungsform ist besonders geeignet, um Schmelzen mit hoher elektrischer Leitfähigkeit zu beheizen, da durch den unabhängigen Betrieb
5 mehrerer Elektrodenpaare die Elektrodenfläche effektiv vergrößert wird und sich damit hohe Stromdichten innerhalb der Schmelze zur Erreichung ausreichender Heizleistungen erreichen lassen. Die Elektrodenpaare müssen jedoch so angeordnet werden, daß ein Nebenschluß über elektrisch
10 leitende Wandelemente, im speziellen Schmelzgefäßteile oder Elektroden vermieden wird.

Fig. 3D zeigt eine weitere Ausführungsform der Vorrichtung mit mehreren Elektrodenpaaren. Im Gegensatz zu der anhand von
15 Fig. 3C erläuterten Ausführungsform der Vorrichtung sind hier die Elektroden jedoch nicht nebeneinander, sondern übereinander angeordnet. Dabei bilden die zwei Elektroden 501 und 502 ein Elektrodenpaar, welches von der Wechselstromquelle 18 versorgt wird und näher an der
20 Schmelzbadoberfläche oberhalb der von der Wechselstromquelle 20 versorgten und auf den gleichen Seiten des Schmelzgefäßes 3 angebrachten Elektroden 503 und 504 angeordnet ist. Eine derartige Anordnung ist besonders geeignet, durch separaten Betrieb der übereinander angeordneten Elektrodenpaare die
25 räumliche Temperaturverteilung in der Schmelze zu beeinflussen und so beispielsweise die Form und Ausdehnung einer oder mehrerer Konvektionswalzen in der Schmelze zu steuern.

30 In Fig. 3E ist eine Ausführungsform mit einer ringförmigen Elektrode 501 und einer zweiten Elektrode 502 in Form einer Bodenelektrode dargestellt. Die Elektrode 501 nimmt dabei

einen ringförmigen Bereich der Seitenwandung 16 des zylinderförmigen Schmelzgefäßes 3 mit kreisförmigem oder ovalem Grundriss ein. Anstelle des dargestellten kreisförmigen oder ovalen Grundrisses kann dieser auch die Gestalt eines Vielecks aufweisen.

Selbstverständlich können auch die anderen beispielhaft dargestellten Ausführungsformen eine oder mehrere Bodenelektroden aufweisen. Derartige Bodenelektroden sind unter anderem vorteilhaft zur gezielten Abgabe der Heizleistung im unteren Bereich des Schmelzgefäßes. Dadurch wird eine optimale Volumenausnutzung gewährleistet, beziehungsweise Totvolumina vermieden.

Die in Fig. 3F dargestellte Ausführungsform der Vorrichtung umfaßt ebenfalls wie die in Fig. 3E gezeigte Ausführungsform ein zylinderförmiges Schmelzgefäß 3 mit kreisförmigem oder ovalem Grundriss. Die Elektroden 501 und 502 sind in der zylinderförmigen Seitenwandung angeordnet und bilden jeweils einen Bereich der Seitenwandung 16 in Form eines Ringsegments. Ein zylinderförmiges Schmelzgefäß, wie in den Ausführungsformen der Figuren 3E und 3F gezeigt ist, weist gegenüber quaderförmigen Schmelzgefäßen eine geringere Oberfläche der Innenwandung auf, wodurch die Ableitung von Wärmeenergie reduziert wird. Jedoch ergeben sich bei ringsegmentförmigen Elektroden stark unterschiedliche Widerstandsstrecken durch die Schmelze. Dies kann beispielsweise dadurch kompensiert werden, indem die Elektroden beispielsweise nochmals in separat betriebene Segmente unterteilt werden.

Fig. 4 zeigt eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, die insbesondere als kontinuierliches Einschmelzaggregat ausgelegt ist. Das Schmelzgefäß 3 ist auch bei dieser Ausführungsform bevorzugt als Skulttiegel ausgeführt. Die Elektroden 5 sind auf gegenüberliegenden Seiten des Schmelzgefäßes 3 angeordnet und bilden ebene Bereiche der Seitenwandung 16.

Auf dem Schmelzgefäß 3 ist eine Abdeckung 27 angeordnet in welcher sich eine Einlage 30 für die Zugabe von Schmelzgut befindet. Die Schmelze wird über einen Ablauf 10 abgeführt. Im Ablauf ist außerdem ein Gasbrenner angeordnet, welcher ein Erkalten der Schmelze beim Abführen durch den Ablauf verhindert. Zwischen Ablauf und Einlage ist außerdem eine gekühlte Brücke 26 so angeordnet, daß sie von oben durch die Schmelzbadoberfläche 24 in die Schmelze 22 eintaucht. Damit wird vermieden, daß noch nicht aufgeschmolzenes Einschmelzgut direkt in den Ablauf 10 geraten kann, sondern hinreichend lange im Schmelzgefäß 3 verbleibt. Im Oberofen oberhalb der Schmelzbadoberfläche 24 ist außerdem ein Gasbrenner angeordnet, mit welchem beispielsweise beim Anfahren die Schmelze 22 auf eine hinreichende Temperatur vorgeheizt werden kann, bis sie eine für die konduktive Beheizung ausreichende Leitfähigkeit aufweist. Durch das konduktive Heizen mit den Elektroden 5 und dem gleichzeitigen Kühlen der Skultwände und der Elektroden 5 kommt es zu einem Temperaturgefälle innerhalb der Schmelze vom Mittenbereich hin zu den gekühlten Wandungen. Dadurch entsteht im Mittenbereich der Schmelze 22 eine heiße Zone 23, deren Temperatur durch das Zusammenwirken von Kühlung und Heizleistung so eingestellt werden kann, daß sie mehr als 150° K, vorzugsweise mehr als 250° K höher ist als die

Elektrodenoberflächen. Dadurch entsteht in der Schmelze außerdem eine starke Konvektionsströmung unter Ausbildung einer oder mehrerer Konvektionswalzen 25. Auf diese Weise wird das Schmelzgut durch das Schmelzgefäß durchgeführt und es werden Totzonen in der Schmelze 22 vermieden, in denen das Schmelzgut zu lange im Schmelzgefäß verbleibt. Die Konvektion kann des weiteren durch eine Blasdüse 32 unterstützt werden, durch die beispielsweise Sauerstoff oder Edelmase in die Schmelze 22 eingeblasen werden können.

Fig. 5 zeigt gemessene Diagramme von Temperaturen als Funktion des Heizstroms. Als Schmelzgut wurde alkalifreies Displayglas verwendet. Die gepunktet dargestellte Kurve zeigt die Abhängigkeit der Temperatur in der heißen Zone 23 der Schmelze. Die mit einer durchgezogenen Linie dargestellte Meßkurve gibt die Temperaturmeßwerte an der Schmelzbadoberfläche 24 und die gestrichelt dargestellte Meßkurve die Meßwerte an der Elektrodenoberfläche wieder. Dabei wurde für die Elektrode eine Kühlung mit zwei Kühlkreisen verwendet. Einer der Kühlkreise wurde dazu mit Luft als Kühlmittel betrieben, die über FluidleitungsKanäle direkt mit einer gut wärmeleitfähigen Platte, auf welcher das Schmelzkontaktmaterial angeordnet ist, in Berührung kommt. Die Meßkurven zeigen, daß mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eine Temperaturdifferenz zwischen heißer Zone 25 und Elektrodenoberfläche von 242 °C erreicht wurde. Dabei läßt sich die Temperaturdifferenz unter anderem auch dadurch noch vergrößern, indem der Kühlluft Wasser zur Bildung eines Aerosols zugesetzt wird.

In den Figuren 6A bis 6c sind anhand schematischer Querschnitte durch ein Schmelzaggregat 1 Verfahrensschritte

eines Startvorgangs, beziehungsweise einer Inbetriebnahme dargestellt. Fig. 6A zeigt dazu den Anfangszustand, bei welchem das Schmelzgefäß 3 des Schmelzaggregates 1 mit festem Schmelzgut 35 befüllt ist. Das Schmelzgut 35 kann
5 beispielsweise als Scherben oder Gemenge zugegeben sein.

Als nächstes werden, wie in Fig. 6B gezeigt ist, Startelektroden 37 und 39 in das Schmelzgut eingeführt. Die Startelektroden 37 und 39 sind mit einer Stromquelle oder
10 Stromversorgung 41 verbunden. Zwischen den Elektroden 37 und 39 wird nun ein kleiner Bereich des Schmelzguts, etwa an der Oberfläche mittels eines fossilen Brenners soweit erhitzt, bis dessen Leitfähigkeit zur konduktiven Beheizung über die Startelektroden ausreicht. Daraufhin bildet sich durch die
15 konduktive Beheizung zwischen den Elektroden 37 und 39 ein geschmolzener Bereich 220. Die Elektroden 37, 39 können nun langsam auseinandergefahren werden, wobei sich der Bereich 220 zwischen diesen entsprechend vergrößert.

20 Gleichzeitig können die in der Wandung des Schmelzgefäßes 3 integrierten Elektroden 51 und 52 vorgeheizt werden. Dies geschieht über jeweils eine mit dem Schmelzkontaktmaterial der Elektroden verbundene Stromversorgung 33, mit welcher eine Querbstromung und somit eine ohmsche Beheizung des
25 Schmelzkontaktmaterials vorgenommen wird. Die Wände des Schmelzgefäßes 3 können auf der der Schmelze zugekehrten Seite zusätzlich mit einem elektrisch und thermisch schlecht leitenden Material, beispielsweise mit Keramikplatten oder SiO_2 -Schlicker ausgekleidet sein.

30

Durch die Querbstromung wird auch im Bereich der Elektroden Schmelzgut aufgeschmolzen und bildet geschmolzene Bereiche

221, beziehungsweise 222. Sind die Startelektroden so weit auseinandergefahren, daß diese in die Nähe der Elektroden 51 und 52 kommen, so kommen schließlich die geschmolzenen Bereiche 221 und 222 jeweils mit dem geschmolzenen Bereich 220 in Kontakt. Auf diese Weise wird ein geschmolzener Bereich hergestellt, welcher von einer der Elektroden 51 und 52 zur anderen reicht und eine leitfähige Brücke bildet. Daraufhin kann die Stromversorgung 18 für die beiden Elektroden 51 und 52 in Betrieb genommen und so die Schmelze mittels dieser Elektroden mit großer Leistung geheizt werden.

Bezugszeichenliste

1	Vorrichtung zur Beheizung von Schmelzen
3	Schmelzgefäß
5, 501,	Elektrode
502	
51	Schmelzkontaktfläche der Elektrode 5
52	Elektrische Zuleitungen
53	Schmelzkontaktmaterial der Elektrode 5
54	Stützkonstruktion für Schmelzkontaktmaterial 53
56	Halteblech
6	Kühlmittelanschlüsse
61	Anschlüsse für ersten Kühlkreis
62	Anschlüsse für zweiten Kühlkreis
7	Rohre des Skulttiegels
9	Zulauf
10	Ablauf
11	Schmelzgutrinne
13	Feuerfestkragen
14	Boden des Schmelzgefäßes 3
15	Bodenablauf
16	Seitenwandung des Schmelzgefäßes 3
161, 162	schräg gestellt Seitenwände des Schmelzgefäßes 3
18, 20, 33	Wechselstromquelle
22	Schmelze
220, 221,	geschmolzene Bereiche
222	
23	heißer Bereich
24	Schmelzbadoberfläche
25	Konvektionswalze
26	Brücke

27	Abdeckung
28, 29	Gasbrenner
30	Einlage
32	Blasdüse
34	Zuleitungen
35	festes Schmelzgut
37, 39	Startelektroden
41	Stromversorgung für Startelektroden 37, 39

Ansprüche

1. Verfahren zur Beheizung einer Schmelze (22) in einem Schmelzgefäß (3) mit gekühlten Wänden, wobei die Schmelze (22) konduktiv beheizt wird und wobei der Strom zwischen zumindest zwei gekühlten Elektroden (5, 501, 502) fließt, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) jeweils einen Bestandteil der Wandung (14, 16) des Schmelzgefäßes (3) ersetzen.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein Bereich der Schmelze durch den Strom auf eine Temperatur aufgeheizt wird, die oberhalb der Anwendungsgrenztemperatur, insbesondere oberhalb der Schmelz- oder Zersetzungstemperatur des Schmelzkontaktmaterials zumindest einer der Elektroden (5, 501, 502) liegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) separat regelbar und/oder einstellbar gekühlt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) in Aussparungen gekühlter Wände des Schmelzgefäßes eingesetzt sind.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlung durch Hindurchleiten mindestens eines Kühlfluides, insbesondere Luft und/oder Wasser durch die Elektroden (5, 501, 502) erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlung durch Hindurchleiten eines gasförmigen Kühlfluides, insbesondere Luft mittels eines Niederdruckgebläses erfolgt.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Kühlmittel mit einem Druckunterschied von weniger als 1000 mbar, bevorzugt weniger als 500 mbar, besonders bevorzugt weniger als 150 mbar durch die Elektroden (5, 501, 502) geleitet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Schmelze durch Eintrag von Strahlungsenergie, insbesondere durch Infrarotstrahlung, zusätzlich beheizt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Schmelze (22) mit Wechselstrom, bevorzugt mit einer Wechselstromfrequenz in einem Bereich von 50 Hz bis 50 kHz, besonders bevorzugt mit einer Wechselstromfrequenz in einem Bereich von 2 kHz bis 10 kHz beheizt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur der Wandungen (14, 16) des Schmelzgefäßes (3) und der Elektroden (5, 501, 502) unterhalb einer Temperatur gehalten werden, bei der eine erhöhte Korrosion auftritt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur der Schmelze (22) in

zumindest einem Bereich über 1600 °C, vorzugsweise über 1700 °C gehalten wird.

- 5 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur der Schmelzkontaktfläche der zumindest zwei Elektroden (5, 501, 502) unterhalb von 1650° C, vorzugsweise unterhalb von 1500 °C gehalten wird.
- 10 13. Verfahren nach Anspruch 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperaturdifferenz zwischen der Schmelze (22) im Randbereich des Schmelzgefäßes (3) und der Schmelze (22) im Mittenbereich des Schmelzaggregates mehr als 150° K vorzugsweise mehr als 250° K beträgt.
- 15 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitfähigkeit der Schmelze (22) bei der Schmelztemperatur eine elektrische Leitfähigkeit in einem Bereich von 10^{-3} bis $10^2 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, bevorzugt in einem Bereich von 10^{-2} bis $10^1 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ aufweist.
- 20 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß bei gegebener Heizleistung der aus den Elektroden (5, 501, 502) in die Schmelze (22) austretende Strom an keiner Stelle eine Stromdichte von 5 A/cm² überschreitet.
- 25 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß kontinuierlich Schmelzgut zu- und abgeführt wird.
- 30

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Schmelzgut in geschmolzener Form über einen Zulauf (9) zugeführt und in geschmolzener Form über einen Ablauf (10) abgeführt wird.
- 5 18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Heizstrom zwischen den Elektroden im wesentlichen entlang der Hauptfließrichtung der Schmelze (22) oder senkrecht dazu fließt.
- 10 19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei zwischen Schmelzkontaktfläche der Elektroden und einem Bereich der Schmelze (22) im wesentlichen mittig zwischen den Elektroden eine Temperaturdifferenz von mehr als 150 °K, vorzugsweise von mehr als 250 °K eingestellt wird.
- 15 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß Zulauf (9) und Ablauf (10) das Schmelzgut im Bereich der Schmelzbadoberfläche (24) zu- und abführen.
- 20 21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Elektrode (5, 501, 502) wenigstens zeitweise beheizt wird.
- 25 22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß das Beheizen der Elektrode durch Querbstromung des Schmelzkontaktmaterials erfolgt.
- 30 23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, gekennzeichnet durch einen Startvorgang, bei welchem im

Schmelzgefäß ein Schmelzpfad mit ausreichender elektrischer Leitfähigkeit zwischen Elektroden bereitgestellt wird.

- 5 24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden und/oder Teile der Wandung während des Startvorgangs mit einer Heizvorrichtung soweit erwärmt werden, daß deren Temperatur oberhalb des Taupunktes der Oberofenatmosphäre liegt.
- 10 25. Verfahren nach Anspruch 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, daß zur Einschmelzung des Schmelzguts Startelektroden in das Schmelzgefäß eingeführt und über die Startelektroden ein Strom durch das Schmelzgut
- 15 geführt wird.
26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Startelektroden während des Startvorgangs auseinandergefahren werden.
- 20 27. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 26, gekennzeichnet durch das Umschmelzen von einer Schmelze mit höherer elektrischer Leitfähigkeit auf eine Schmelze mit niedrigerer elektrischer Leitfähigkeit.
- 25 28. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden vor dem Startvorgang zusammengeschoben und während des Startvorgangs auseinandergezogen werden.
- 30 29. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß zur Einschmelzung des Schmelzguts

während des Startvorgangs dem Schmelzgut Strahlungsenergie, insbesondere Infrarotstrahlung zugeführt wird.

- 5 30. Vorrichtung (1) zur Beheizung von Schmelzen, insbesondere zur Hochtemperaturläuterung von Schmelzen, umfassend:
- ein Schmelzgefäß (3) mit gekühlten Wänden (14, 16) zur Aufnahme von Schmelzgut, und
 - 10 - zumindest zwei Elektroden (5, 501, 502) zur konduktiven Beheizung der Schmelze (22), dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) jeweils einen Bestandteil der Wandung (14, 16) des Schmelzgefäßes (3) ersetzen.
- 15 31. Vorrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) in Aussparungen in der Wandung (14, 16) des Schmelzgefäßes (3) eingesetzt sind,
- 20 32. Vorrichtung nach Anspruch 30 oder 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenfläche mehr als 1%, vorzugsweise mehr als 10% und besonders bevorzugt mehr als 15% der Wandungsfläche des Schmelzgefäßes ersetzen.
- 25 33. Vorrichtung nach Anspruch 30, 31 oder 32, gekennzeichnet durch mindestens eine Einrichtung zur Kühlung der Elektroden (5, 501, 502), insbesondere zur Kühlung des Schmelzkontaktmaterials der Elektroden (5, 501, 502).
- 30 34. Vorrichtung nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Einrichtung zur Kühlung der

Elektroden (5, 501, 502) eine Fluidfördereinrichtung umfaßt

35. Vorrichtung nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet,
5 daß die Fluidfördereinrichtung ein Niederdruckgebläse, insbesondere ein Niederdruckgebläse, welches einen Druckunterschied von weniger als 1000 mbar, bevorzugt weniger als 500 mbar, besonders bevorzugt weniger als 150 mbar aufbaut, umfaßt.
- 10 36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) Kühlfluidkanäle aufweisen, insbesondere, daß die Kühlfluidkanäle so dimensioniert sind, daß ein
15 ausreichender Kühlfluidfluss bereits bei einer Druckdifferenz des Kühlfluids von 150 mbar oder weniger erreicht wird.
- 20 37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Kühlung der Elektroden (5, 501, 502) zumindest zwei Kühlkreise, vorzugsweise für zwei verschiedene Kühlmedien, besonders vorzugsweise für Luft und/oder ein Aerosol und/oder Wasser umfaßt.
- 25 38. Vorrichtung nach Anspruch 36 oder 37, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Regelung der Kühlleistung der Elektroden (5, 501, 502).
- 30 39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 33 bis 38, gekennzeichnet durch eine weitere Einrichtung zur Kühlung des Bereichs der Wandung (14, 16) des

Schmelzgefäßes (3), der nicht durch die Elektroden gebildet wird.

- 5 40. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß das Schmelzgefäß (3) Skullwände und/oder Keramikwände umfaßt.
- 10 41. Vorrichtung nach Anspruch 40, wobei das Schmelzgefäß (3) Skullwände umfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß die Skullwände, die vorzugsweise gekühlte metallische Rohre umfassen, auf der der Schmelze (22) zugekehrten Seite mit einem elektrisch schlecht leitenden Material, vorzugsweise in Form von Keramikplatten oder Schlicker, insbesondere SiO_2 -Schlicker ausgekleidet sind.
- 15 42. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 41, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) elektrisch isoliert angeordnet sind, insbesondere elektrisch isoliert zur Wandung (14, 16) des
- 20 Schmelzgefäßes (3).
- 25 43. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 42, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Erzeugung von Wechselstrom (18, 20), bevorzugt mit einer Wechselstromfrequenz in einem Bereich von 50 Hz bis 50 kHz, besonders bevorzugt mit einer Wechselstromfrequenz in einem Bereich von 2 kHz bis 10 kHz.
- 30 44. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 43, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) Platten- und/oder Knopf- und/oder Stabelektroden umfassen.

45. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 44, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) ein Schmelzkontaktmaterial aufweisen, welches elektrisch leitfähige Kermamik, wie beispielsweise SnO_2 -Keramik und/oder Refraktärmetalle, insbesondere hochschmelzende Metalle, insbesondere Wolfram, Molybdän, Tantal, Osmium, Hafnium oder deren Legierungen, und/oder Platinmetalle, insbesondere Platin, Iridium, Rhodium oder deren Legierungen umfaßt.
46. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 45, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) ein feinkornstabilisiertes Material, insbesondere ein hochfestes Platinmaterial umfaßt.
47. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 46, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) und/oder die Wandungen (14, 16) des Schmelzgefäßes (3) gegen die Schmelze (22) chemisch resistent sind.
48. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 47, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine der Elektroden (5, 501, 502) zumindest zwei Elektrodensegmente aufweist.
49. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 48, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) vorzugsweise im unteren Teil des Schmelzgefäßes (3) so angeordnet sind, daß sie sich in Flußrichtung der Schmelze (22) oder senkrecht dazu gegenüberstehen.

50. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 49, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) auswechselbar an der Vorrichtung befestigt sind.
- 5 51. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 50, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) im unteren Teil des Schmelzgefäßes (3), vorzugsweise unterhalb der Schmelzbadoberfläche (24) im Bereich der unteren zwei Drittel der Füllhöhe des Schmelzgefäßes (3) angeordnet sind.
- 10 52. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 51, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung mehrere Elektrodenpaare und/oder mehrere Paare von Elektrodensegmenten aufweist.
- 15 53. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 52, dadurch gekennzeichnet, daß die Schmelzkontaktflächen (51) der Elektroden (5, 501, 502) schräg zueinander angeordnet sind.
- 20 54. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 53, dadurch gekennzeichnet, daß in Richtung der Hauptfließrichtung der Schmelze (22) die Elektroden (5, 501, 502) vorzugsweise im unteren Teil des Schmelzgefäßes (3) so angeordnet sind, daß sie sich in Flußrichtung der Schmelze (22) gegenüberstehen.
- 25 55. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 54, dadurch gekennzeichnet, daß das Schmelzgefäß (3) einen quadratischen, rechteckigen, vieleckigen, ovalen oder kreisförmigen Grundriß aufweist.
- 30

56. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 55, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine der Elektroden (5, 501, 502) einen ebenen oder ringförmigen oder ringsegmentförmigen Bereich der Wandung (14, 16) des Schmelzgefäßes (3) bildet.
57. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 56, gekennzeichnet durch eine Brücke, welche vorzugsweise so angeordnet ist, daß sie von oben durch die Schmelzbadoberfläche (24) in die Schmelze (22) eintaucht.
58. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 57, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Zusatzbeheizung.
59. Vorrichtung nach Anspruch 58, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Zusatzbeheizung zumindest einen fossilen Brenner (28, 29) und/oder zumindest einen Plasmabrenner und/oder zumindest ein Widerstandsheizelement und/oder zumindest einen Infrarot-Strahler umfaßt.
60. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 59, gekennzeichnet durch zumindest einen Ablauf (15) für die Schmelze (22) am Boden des Schmelzgefäßes (3).
61. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 60, gekennzeichnet durch zumindest eine vorzugsweise am Boden (14) des Schmelzgefäßes (3) angeordnete Blasdüse (32).

62. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 61, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine der Elektroden (5, 501, 502) eine Heizvorrichtung umfaßt.
- 5 63. Vorrichtung nach Anspruch 62, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizvorrichtung eine ohmsche Heizeinrichtung umfaßt.
- 10 64. Vorrichtung nach Anspruch 62 oder 63, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizvorrichtung eine Stromquelle (33) umfaßt, welche an das Schmelzkontaktmaterial oder ein darunter befindliches leitfähiges Material angeschlossen ist.
- 15 65. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 62 bis 64, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizvorrichtung eine Vorrichtung zur Erwärmung eines Kühlfluids umfaßt.
- 20 66. Vorrichtung nach Anspruch 65, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizvorrichtung eine elektrische und/oder fossile Heizung und/oder eine Abwärmeheizung umfaßt.
- 25 67. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 30 bis 66, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden verschiebbar angeordnet sind.
- 30 68. Vorrichtung (1) zur Beheizung von Schmelzen mit einem Schmelz-, Konditionier- oder Läutergefäß (3) zur Aufnahme von Schmelzgut, insbesondere nach einem der Ansprüche 30 bis 67, dadurch gekennzeichnet, daß das

Schmelz-, Konditionier- oder Läutergefäß (3) eine Infrarotstrahlung-reflektierende Oberfläche aufweist.

69. Vorrichtung (1) gemäß Anspruch 68, dadurch
5 gekennzeichnet, daß die Infrarotstrahlung-reflektierende Oberfläche poliert ist.
70. Vorrichtung (1) gemäß Anspruch 68 oder 69, dadurch
10 gekennzeichnet, daß die Infrarotstrahlung-reflektierende Oberfläche eine Infrarotstrahlung-reflektierende Beschichtung, insbesondere eine Gold- Platin-, Nickel-, Chrom- oder Rhodiumbeschichtung umfasst.
71. Vorrichtung (1) gemäß einem der Ansprüche 68 bis 70,
15 dadurch gekennzeichnet, daß die Infrarotstrahlung-reflektierende Oberfläche die Oberfläche des Schmelzkontaktmaterials zumindest zweier Elektroden (5, 501, 502) zur konduktiven Beheizung der Schmelze (22) umfasst, wobei diese Elektroden (5, 501, 502) Teile der
20 Wandung (14, 16) des Schmelz-, Konditionier- oder Läutergefäßes (3) ersetzen.

Fig. 1A

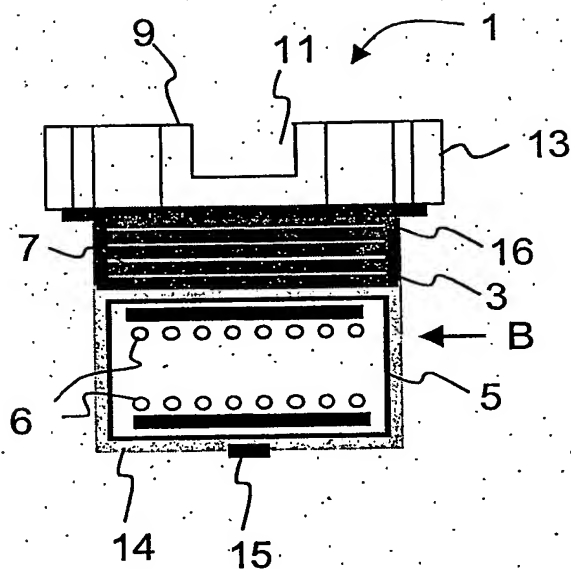


Fig. 1B

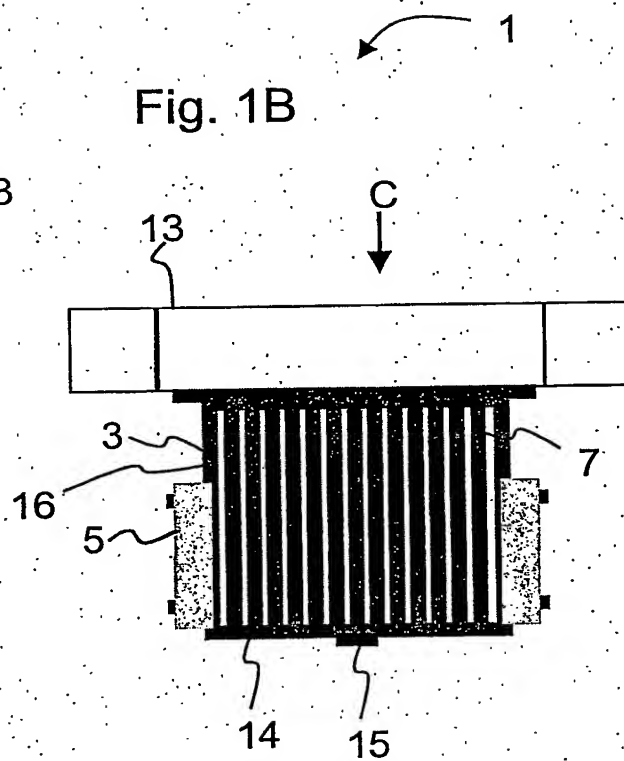
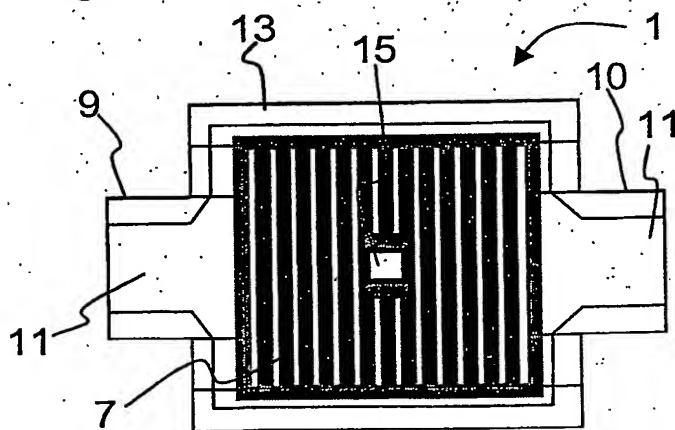
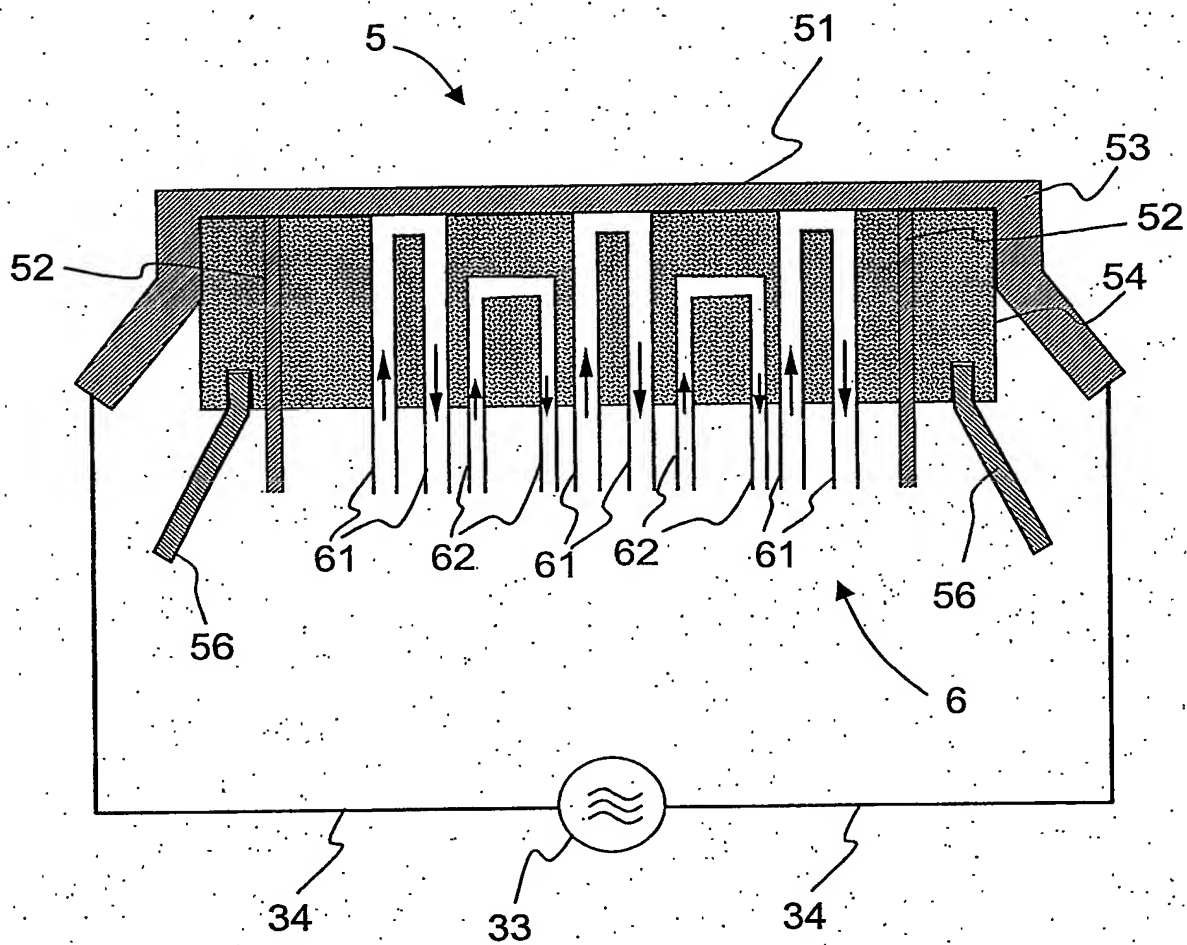


Fig. 1C



2/7

Fig. 2



3/7

Fig. 3A

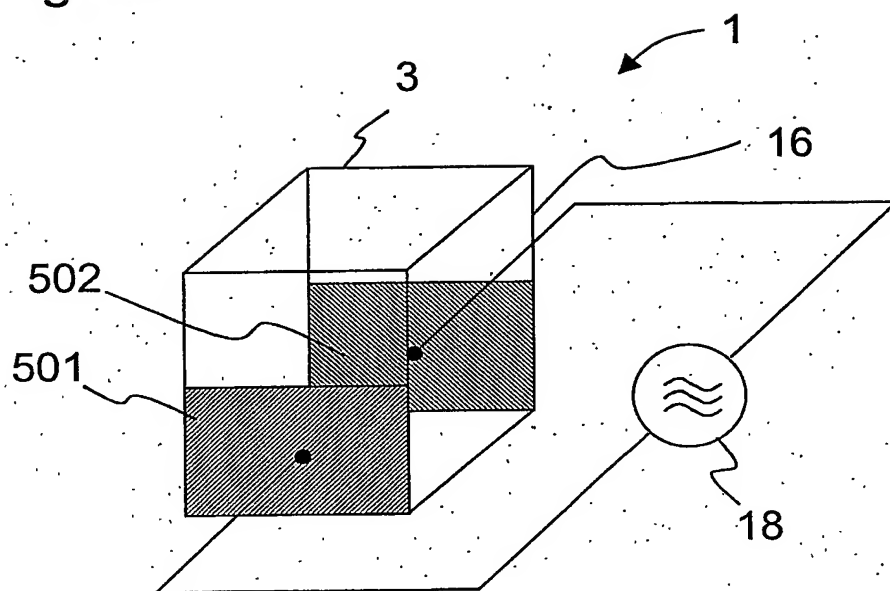
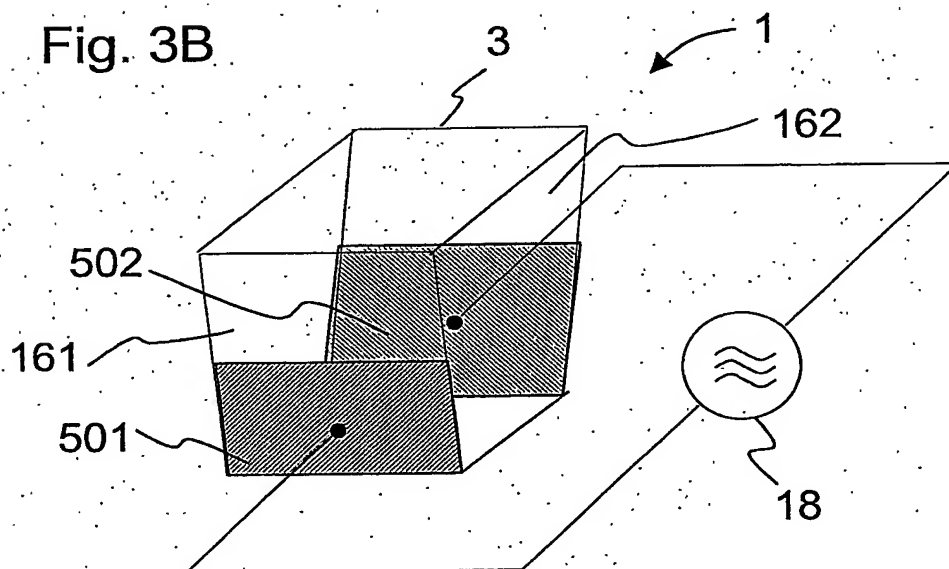


Fig. 3B



4/7

Fig. 3C

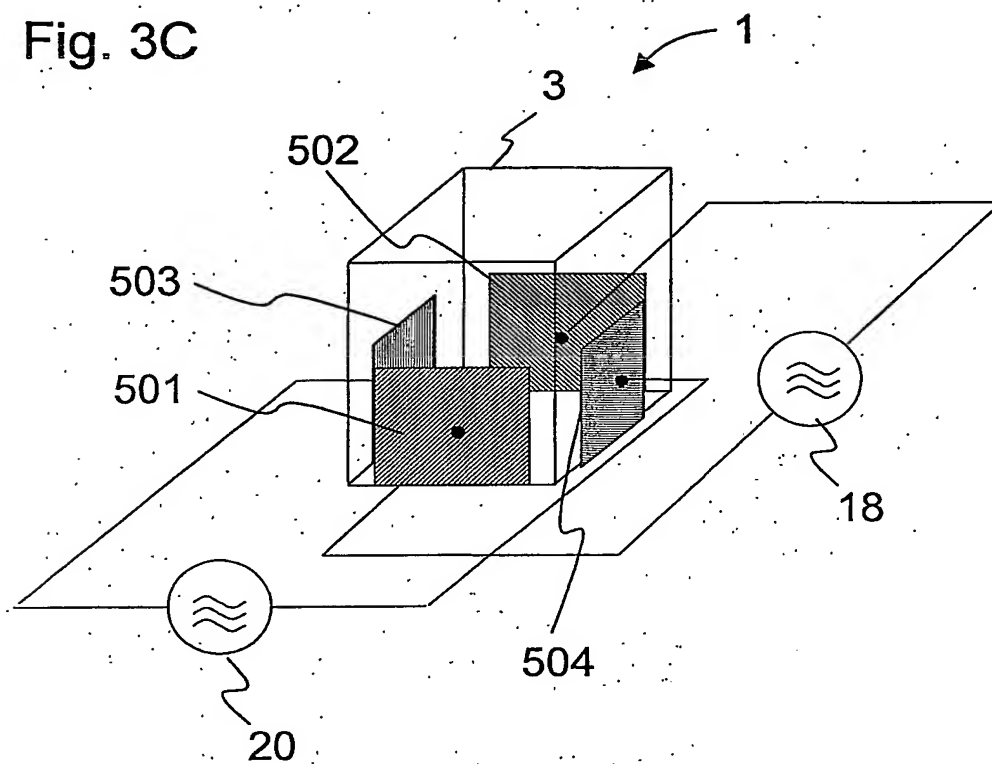


Fig. 3D

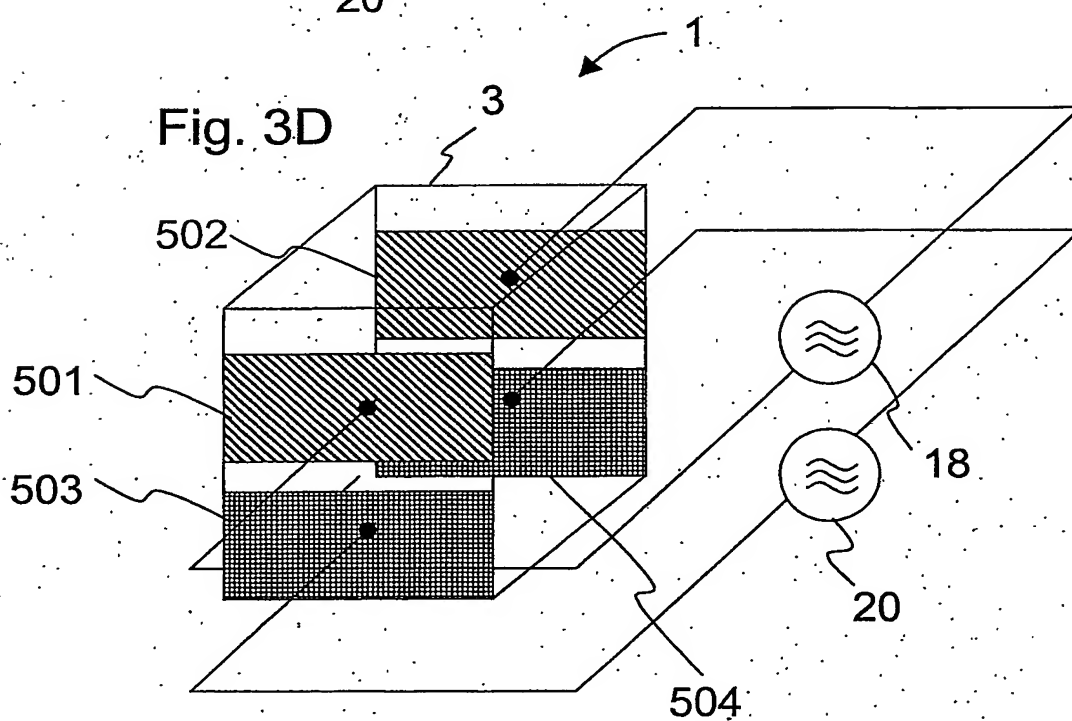


Fig. 3E

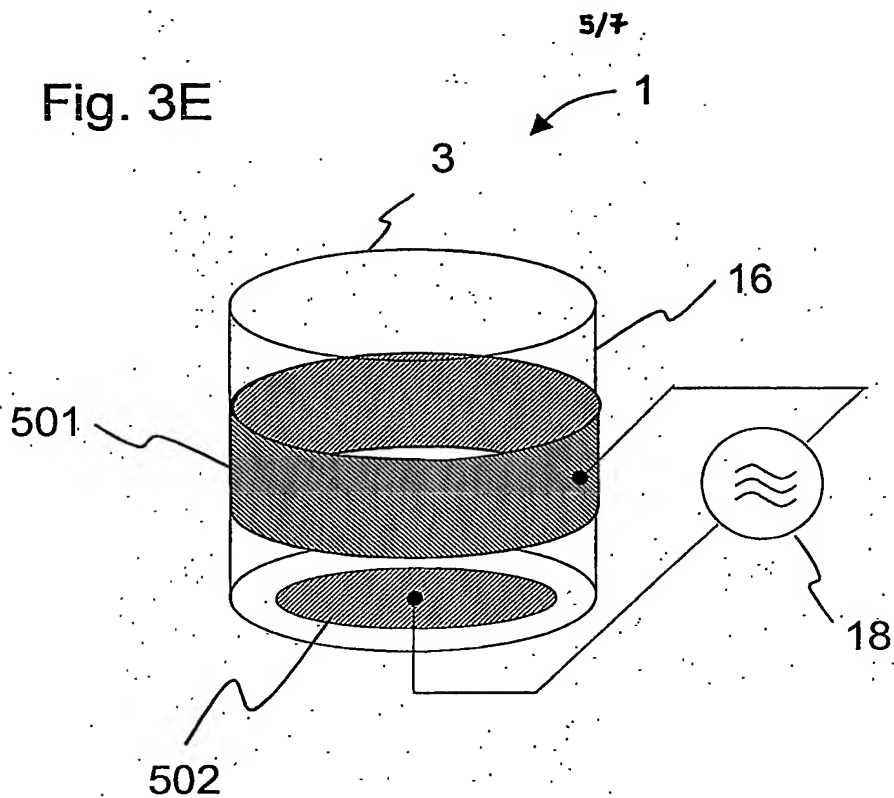


Fig. 3F

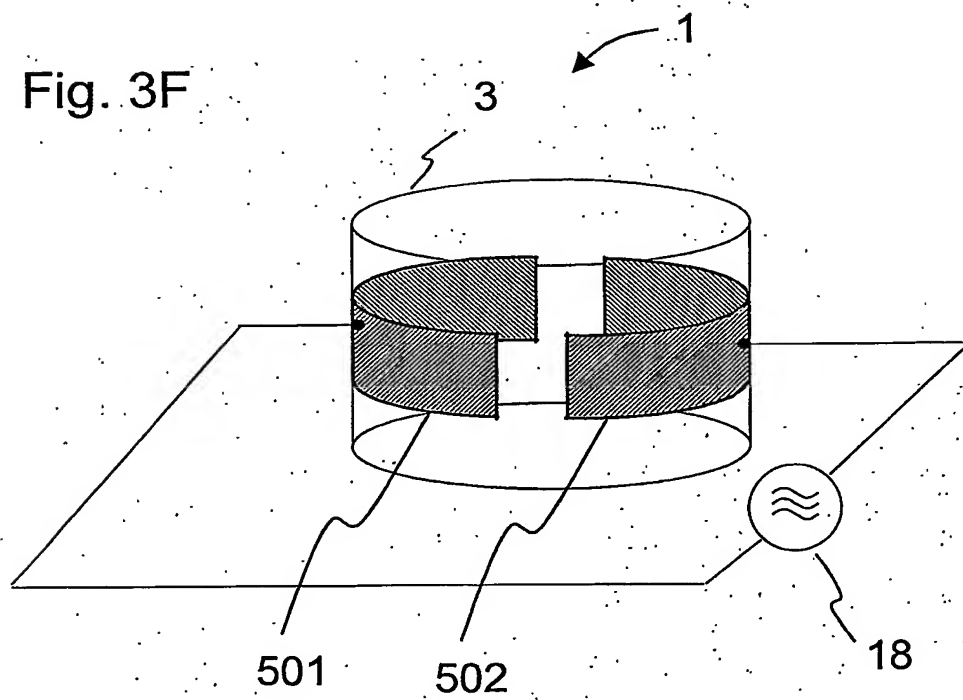


Fig. 4

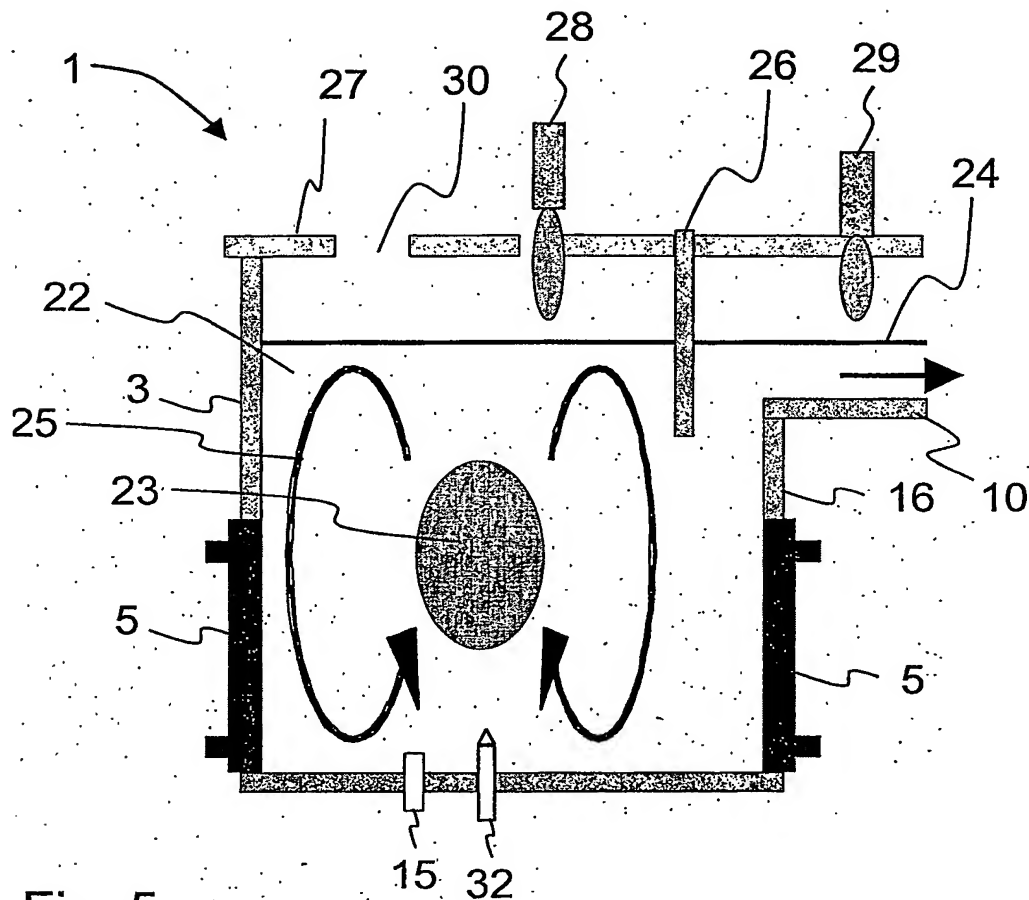
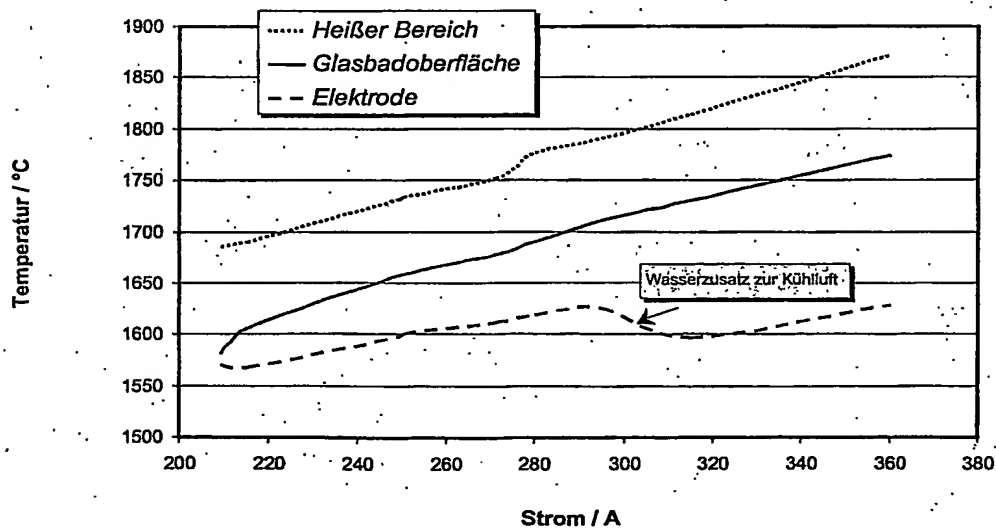


Fig. 5



7/7

Fig. 6A

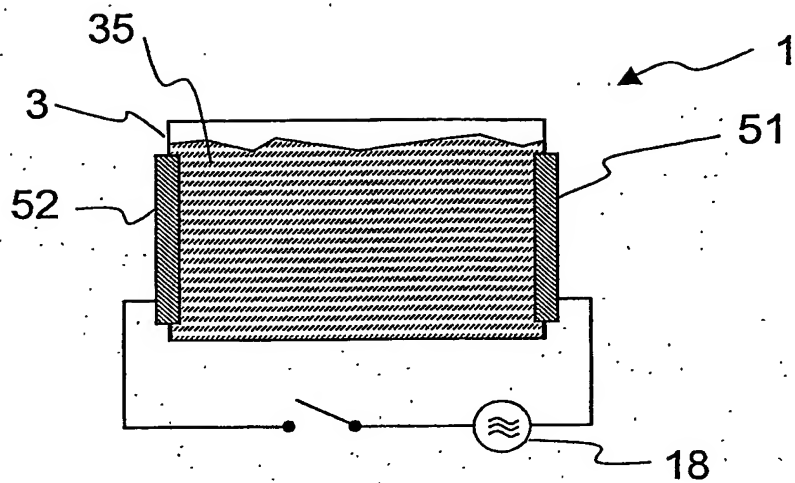


Fig. 6B

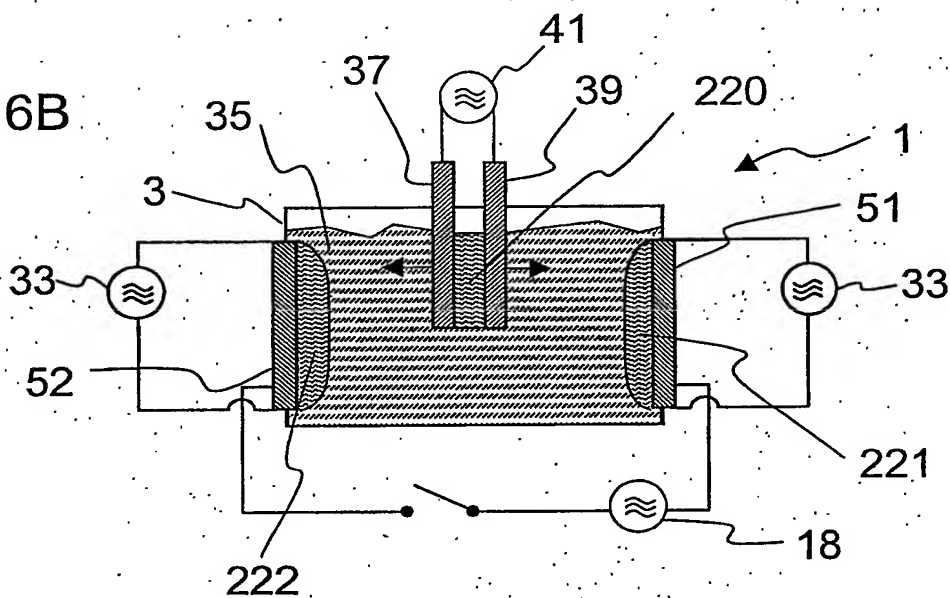
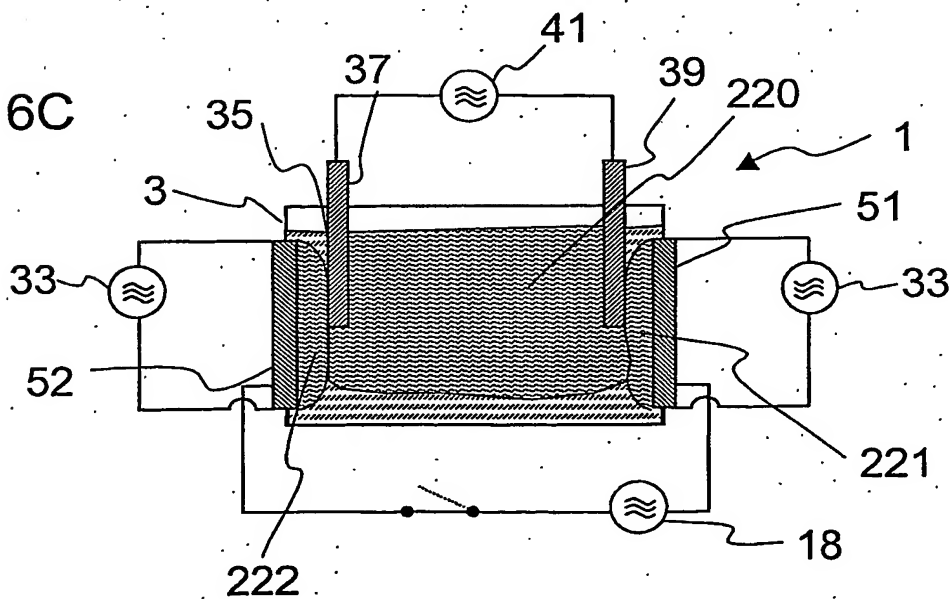


Fig. 6C



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Publication No
PCT/EP 03/13353

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H05B3/03

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 246 433 A (SEIFRIED GEORGE B ET AL) 20 January 1981 (1981-01-20) column 6, line 10 - line 11; figure 7 column 3, line 33 - line 40 column 5, line 25 - line 29; claim 4 ---	1-71
A	US 6 044 667 A (CHENOWETH) 4 April 2000 (2000-04-04) cited in the application the whole document -----	1-71

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the International filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 March 2004

Date of mailing of the international search report

05/04/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Taccoen, J-F

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/13353

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4246433	A	20-01-1981	NONE	
US 6044667	A	04-04-2000	US 5961686 A	05-10-1999
			CA 2283020 A1	29-12-2000
			US 2002000101 A1	03-01-2002
			US 2001045107 A1	29-11-2001
			CA 2245357 A1	25-02-1999
			US 6178777 B1	30-01-2001

INTERNATIONALE RESEARCHENBERICHT

Internationale Aktenzeichen

PCT/EP 03/13353

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 H05B3/03

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Researchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H05B

Researchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die researchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 246 433 A (SEIFRIED GEORGE B ET AL) 20. Januar 1981 (1981-01-20) Spalte 6, Zeile 10 - Zeile 11; Abbildung 7 Spalte 3, Zeile 33 - Zeile 40 Spalte 5, Zeile 25 - Zeile 29; Anspruch 4	1-71
A	US 6 044 667 A (CHENOWETH) 4. April 2000 (2000-04-04) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-71



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

25. März 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

05/04/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Taccoen, J-F

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die derselben Patentfamilie gehören

Internationale Patentnummer

PCT/EP 03/13353

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4246433	A	20-01-1981	KEINE
US 6044667	A	04-04-2000	US 5961686 A 05-10-1999
		CA 2283020 A1	29-12-2000
		US 2002000101 A1	03-01-2002
		US 2001045107 A1	29-11-2001
		CA 2245357 A1	25-02-1999
		US 6178777 B1	30-01-2001